



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KOULURAKENNUKSEN LVIA-TOIMIVUUSTARKASTELU

Sami Mattila

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Talotekniikka
LVI



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikka
LVI

MATTILA, SAMI
Koulurakennuksen LVIA-toimivuustarkastelu

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Toukokuu 2018

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella koulurakennuksen LVIA-järjestelmien toimivuutta eli tehdä toimivuustarkastelu. Samalla oli tarkoitus tutkia esiintyviä ongelmia ja mahdollisuuksien mukaan selvittää niiden syitä sekä antaa korjausehdotuksia. Tutkittava kohde oli Finnentie 42 sijaitseva Kangasalan lukio, joka valmistui vuonna 2012. Tulevaisuutta varten haluttiin tutkia, mitä yleensä kannattaa selvittää tai mittauttaa ja mitkä ovat oppimistilojen hyviä pitoisuusarvoja tai lämpötiloja. Oppimistarkoituksessa haluttiin tutkia, mitä virheellisyyksiä tai virhetulkintamahdollisuuksia on tämän kohteen suunnittelun aikaisissa IV-määräyksissä ja -ohjeissa sekä mitä uudet IV-ohjeet tuovat vanhojen tilalle.

Koulurakennuksessa mitattujen ilman laadullisten pitoisuusarvojen, nopeuksien, lämpötilan tai valomäärän perusteella voi päätellä oppilaiden viihtyvyyden lisäksi heidän oppimistuloksiaan. Oppimista on tutkittu ja todettu millä ilman laatuaroilla on paras oppimistulos ja paljonko siihen vaikuttaa tietyn ilman laatuarvon ero optimaaliseen arvoon verrattuna. Käytännössä merkityksellisimmiksi pitoisuusarvoiksi osoittautuivat hiilidioksidi- ja kosteuspitoisuus. Jossain tapauksissa voi olla parempi, että palelemisen takia ei lisätä lämpötilaa, vaan nostetaan ilman kosteuspitoisuutta. Tämän takia haluttiin perehtyä syvällisemmin ilman eri laatuksien pitoisuusarvoihin, nopeuksiin, lämpötiloihin tai valomääriin, vaikka joidenkin vaikutus on hyvin vähäinen. Useista vähäisen vaikutuksen aiheuttajista voi koostua yhdessä merkittävä vaikutus ja yksinään vähäisen vaikutuksen aiheuttaja voi isomman vaikutuksen aiheuttajan kanssa muodostaa huomattavasti suuremman vaikutuksen kuin isomman vaikutuksen aiheuttaja yksinään.

Työn tuloksena havaittiin paine-eromittauksia käsitellessä suuria paine-eroja sisätilojen ja ulkoilman välillä, jotka jäljitettiin ilmavirtauksien säätöihin suunniteltuun nähden. Sisäilman lämpötilat olivat talviaikana melko hyvät ja kosteuspitoisuus usein suositusten alarajan tuntumassa tai jopa sen alle, mutta joidenkin tilojen hiilidioksidipitoisuus oli liian korkea. Näiden takia on annettu muutossuosituksia ja simuloitu vaikutuksia.

Uudet IV-ohjeet määrittelevät tilojen ilmanvaihdon suunnittelun perusteena olevan, että tilojen paine tulisi olla sama kuin ulkoilmankin. Tämä aiheutti pohdintaa. Miten tilakoh- taisten poisto- ja tuloilmavirtauksien säätöjen tekijät tulkitsevat uuden määrittelyn melko suuren 20 % epäsuoruuksien suunnitteluarvoihin nähden? Tuleeko joistakin tiloista ulkoilmaan nähden ylipaineisia tiloja? Vai pitäisikö mitata jokaisen ulkoseinää vasten olevan tilan paine-ero ulkoilmaan nähden? Voiko tästä muodostua rakennuksia pilaava virhetulkintamahdollisuus, vaikka suunnitelmat olisivatkin kunnossa? Nämä kysymykset vaatisivat vielä jatkoseurantaa tai esitettyjä toimenpiteitä.

Asiasanat: toimivuustarkastus, olosuhteet, lämpötila, pitoisuudet, hiilidioksidipitoisuus, kosteuspitoisuus, LVIA, lämmitys, ilmastointi, koulurakennus

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

MATTILA SAMI:

A Functional Study of HVACA in a School Building

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 10 pages
May 2018

The aim of this thesis was to make an effectiveness analysis of the HVAC systems in a school building. The purpose was to find problems and figure out their cause as well as give proposals on how to fix these problems. The building that was investigated was the High School of Kangasala, completed in 2012. This thesis studied good values for the indoor climate in the classrooms, and compared the new and old indoor climate guidelines.

Based on the measured indoor climate values it can be concluded that when students have a good indoor climate, learning outcomes are better. In practice, the concentration of carbon dioxide and the air humidity played the biggest role. For example in some cases, it was better to raise the air humidity than the air temperature. That is why indoor climate values were investigated in more depth. Although the effect of the separate values is small, the combined effect can be significant.

The results of the thesis identified pressure differences over in the chassis of the building. The indoor temperature and humidity were, in general, quite good but the concentration of carbon dioxide was often too high, and that is why repair recommendations were given.

New indoor climate guidelines determine that the outdoor pressure is the same as the indoor pressure in the ventilation plan. The problem can be the adjustment and how the guidelines are interpreted: the tolerance can be as much as 20 % and some spaces can have overpressure compared to the outside air. Could this become a factor that will destroy our buildings although the plan is in order? This question needs further research.

Key words: functional study, conditions, temperature, concentration, HVAC, heating, air conditioning, school building

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SISÄILMAN OLOSUHTEIDEN ja PAINE-EROJEN MERKITYKSESTÄ ..	8
2.1	Lämpötila ja muut ilman olosuhteet (arvot)	8
2.1.1	Ihmisen koon ja sukupuolen aiheuttama erilainen lämmön tuotto	11
2.1.2	Ihmisen liikkuvuuden aiheuttama lämmön tuotto.....	12
2.1.3	Yleiskunnon aiheuttama lämmön tuotto	12
2.1.4	Pukeutumisen aiheuttama lämmöneristys	12
2.1.5	Syöminen ja sen vaikutus lämmön tuottoon	13
2.1.6	Ilman kosteuden ja liikkeen vaikutus lämpötilan aistimukseen....	13
2.1.7	Lämpötilan pysyvyyden ja kerrostuneisuuden vaikutus	15
2.2	Valomäärän vaikutus viihtyvyyteen	15
2.3	Ilman laadun vaikutus viihtyvyyteen ja terveyteen	16
2.4	Melun vaikutus	19
2.5	Paine-erojen vaikutus.....	20
3	KOHTEEN TIEDOT.....	22
4	TOIMIVUUSTARKASTELU	25
4.1	Lämmitys	26
4.1.1	Tilan 203 lämpötila	26
4.1.2	Tilan 237 lämpötila	27
4.1.3	Tilan 240 lämpötila	27
4.1.4	Tilan 302 lämpötila	27
4.1.5	Tilan 304 lämpötila	27
4.1.6	Tilan 320 lämpötila	28
4.1.7	Tilan 322 lämpötila	28
4.1.8	Tilan 338 lämpötila	28
4.2	Vesi ja viemäröinti.....	29
4.3	Rossiosuuden alapohjan kuivatusilmastointi	29
4.4	Ilmastointi, paine-erot ja muut kuin lämpöolosuhteet	29
4.4.1	Tilan 203 ilman laatu	30
4.4.2	Tilan 237 ilman laatu	31
4.4.3	Tilan 240 ilman laatu	31
4.4.4	Tilan 302 ilman laatu	32
4.4.5	Tilan 303 ilman laatu	33
4.4.6	Tilan 320 ilman laatu	33
4.4.7	Tilan 322 ilman laatu	34
4.4.8	Tilan 338 ilman laatu	34

4.4.9	Tilan 321 paine-ero	35
4.4.10	Vähiten alipaineisin tila.....	36
4.5	LVI-automaatiikka.....	36
4.6	Muuta	36
5	TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	37
5.1	Lämpötilamuutokset	37
5.1.1	Tilan 320 lämpötilamuutos	37
5.1.2	Tilan 320 lämpötilamuutos	37
5.2	Ilmavirtauksien tehostusmuutokset.....	38
5.2.1	Tilan 320 IV-säädöt.....	39
5.2.2	Tilan 338 IV-säädöt.....	40
5.2.3	Tilan 321 IV-säädöt.....	41
5.3	Muuta	41
6	POHDINTA.....	42
6.1	Mittarit, mittaukset ja rakennuksen rakenne.....	42
6.2	Heränneet pohdinnat ja ongelmat	43
6.2.1	Ilmavirtaukset.....	43
6.2.2	Paine-erot	44
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	49
	Liite 1. Luokka 203	49
	Liite 2. Luokka 237	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
	Liite 3. Luokka 240	51
	Liite 4. Luokka 302	53
	Liite 5. Luokka 304	55
	Liite 6. Luokka 320	56
	Liite 7. Luokka 322	57
	Liite 8. Luokka 338	58

LYHENTEET JA TERMIT

LVIA	Lämpö, vesi ja viemäri, ilmastointi sekä automaatio.
Operatiivinen lämpötila	Kuvaa ihmisen tuntemaa lämpötilaa, jossa on otettu huomioon ilman lämpötilan lisäksi pintalämpötilojen vaikutus.
Efektiiivinen lämpötila	Kuvaa ihmisen tuntemaa lämpötilaa, jossa on otettu huomioon ilman lämpötilan lisäksi pintalämpötilojen, ilman kosteuspi-toisuuden ja ilman liikenopeuden vaikutus.
%RH	Suhteellinen kosteus, joka ilmoittaa kuinka monta prosenttia vettä on määritetyn lämpöisessä ilmassa sen vesipitoisuuden maksimimäärästä.
Kylmäsilta	Rakenteessa olevat kohdat jotka johtavat muuta rakennetta paremmin lämpöä, eli sen kohdan eristyskyky on huonompi. Tällaisia ovat esimerkiksi nurkat, joissa on enemmän puuta ja vähemmän eristettä kuin muualla rakenteissa.
Hiilidioksidi, CO ₂	Koostuu kahdesta hiili- ja yhdestä happiatomista. Sitä esiintyy ilmakehän lämpötiloissa kaasumaisena. Syntyy hiilipitoisten tuotteiden palaessa ja hengityskierron paluutuotteena. Kasvit ja puut taas käyttävät hiilidioksidia yhteyttämiseen ja paluu-tuotteeksi syntyy happea. Mittayksikkönä on joko ppm tai mg/m ³ ja 1 ppm = 1,83 mg/m ³ (20 °C kaasuna).
Luksi, lx	Valaistusvoimakkuus, eli valovirran määrä tietylle valaista-valle pinta-alalle (1 lx = 1 lm/m ²).

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä LVIA:n järjestelmien osalta kevennetty toimivuus-tarkastelu. Samalla oli tarkoitus tutkia esiintyviä ongelmia ja mahdollisuuksien mukaan selvittää niiden syitä sekä antaa korjausehdotuksia. Tulevaisuutta varten haluttiin tutkia, mitä yleensä kannattaa selvittää tai mittaattaa ja mitkä ovat hyviä pitoisuuksia tai lämpö-tiloja. Oppimistarkoituksessa haluttiin tutkia mitä sudenkuoppia on tämän kohteen suunnittelun aikaisissa IV-määräyksissä ja ohjeissa sekä mitä uudet ohjeet tuovat. Tässä onkin jonkin verran viitattu nykyään vanhentuneisiin määräyksiin ja ohjeisiin sekä viitattu vielä virallisesti julkaisemattomiin ohjeisiin. Tätä valmistellessa monet määräykset ja ohjeet olivat vielä virallisesti julkaisemattomia, mutta ne julkaistiin ennen tämän valmistumista yhtä lukuunottamatta.

Erilaisien ilman pitoisuusarvojen, nopeuksien, valomäärän tai lämpötilan perusteella voi päätellä oppilaiden viihtyvyyden lisäksi heidän oppimistulostaan. Jossain tapauksissa voi olla parempi, että palelemisen takia ei lisätä lämpötilaa, vaan nostetaan ilman kosteuspi-toisuutta. Tämän takia tässä on haluttu tarkemmin perehtyä noihin, vaikka vähän kaikki vaikuttavat enemmän tai vähemmän ja usein jopa enemmän yhdessä. Tässä pohdittiin mitä ongelmia ja jopa rakennusten tai ainakin rakennuksen joidenkin tilojen pilaantumisia voi esiintyä nykyisillä ja pikkuhiljaa voimaan tulevilla uusien ohjeiden aikakaudella, vaikka suunnitelmat olisivatkin kunnossa, ellei oteta tiettyjä asioita tarkemmin huomioon rakennettaessa ja säätövaiheessa.

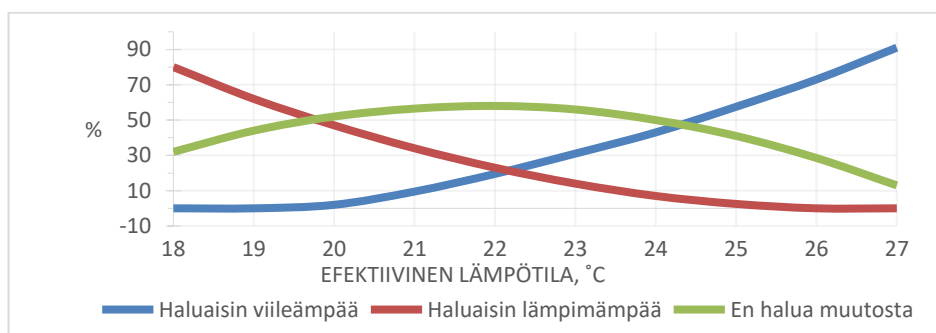
Mitattiin lämpötilaa, äänitasoa, paine-eroja sekä kosteus- ja hiilidioksidipitoisuutta. Niissä havaittiin suuria paine-eroja, jotka johtuivat ilmamäärien säädöistä suunniteltuun nähden. Sisäilman lämpötilat olivat talviaikana melko hyvät, mutta hiilidioksidipitoisuus oli jossain jopa liikaa ja kosteuspi-toisuus melkein aina suositusten alarajan tuntumassa tai jopa sen alle.

2 SISÄILMAN OLOSUhteiden JA Paine-erojen Merkityksestä

Ihmisen viihtyvyyden ja parhaan työsuorituksen tai oppimisen aikaansaamiseksi eniten merkitseviä ovat sisäilman sopiva lämpötila, vedottomuus, meluttomuus ja riittävä valomäärä, kosteuspitoisuus, tarpeeksi matala hiilidioksidipitoisuus, riittävän korkea happipitoisuus ja sopiva ilmanpaine sekä ilman hajuttomuus, mutta mieto tuoksuksi mielletävä saa olla ja voi jopa parantaa viihtyvyyttä. Näistä toimisto- ja koulurakennuksissa yleensä ovat ongelmina vain lämpötila, hiilidioksidipitoisuus ja kosteuspitoisuus. Mutta parannusten yhteydessä saa olla tarkkana, ettei vedon tunne muodostu uudeksi ongelmaksi. Näistä löytyy myös kokemuseräistä tietoa Duodecim aikakauskirjasta. Vuoden 2016 loppupuolella oli lehdissä raflaavia otsikoita ”Koulujen huono sisäilma heikentää oppimistuloksia ja lisää poissaoloja”, joka perustui ”Koulujen sisäilman laatu ja oppiminen” -tutkimuksen sitä vanhemman tutkimuksen tulosten vertailuun raittiin ilman virtauksista oppilasta kohden ja oppimistuloksiin sekä poissaoloihin. Tästä löytyy enemmän juttua Aamuset kaupunkimediasta. Niissä tiloissa joissa ihmiset oireilevat, voi liiallinen alipaine ulkoilmaan nähdessä olla tuohon ainakin osasy, sillä se voi imeä ulkoseinistä saastuttavia partikkeleita hengitysilmaan. Rakennusmateriaaleissa olevista epäpuhtauksista voi lukea lisää Sisäilmayhdistys ry:n sivuilta. Vaikka pieni sisäilman ylipaine ulkoilmaan nähdessä ei ole ihmiselle haitallinen, niin ainakin pitkäkestoisena se on yksi osasy rakenteiden pilaantumiseen ja näin myöhemmässä vaiheessa vaikuttaa ihmisiin.

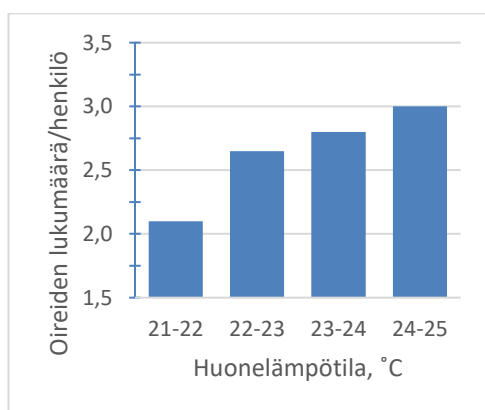
2.1 Lämpötila ja muut ilman olosuhteet (arvot)

Ihmisten sopivaksi tuntema ilman lämpötila vaihtelee jo henkilökohtaisesti, kuten alempana oleva testitulanteessa tehty haastattelupohjainen kuvio 1 esittää. Tuossa on toimistotyössä keskiarvo lämpötilamuutosta haluavien ja ei haluavien osuus huoneen mitatusta efektiivisestä lämpötilasta riippuvana. Tuohon vaikuttaa ilman lämpötilan lisäksi ainakin ihmisen koko ja sukupuoli, ihmisen sen hetkinen ja edeltävien lähihetkien liikkuvuus, yleiskunto, pukeutuminen, syöminen, ilman kosteuspitoisuus (%RH) ja liikkuvuus (veto), lämpötilan pysyvyys (heittelyväli), ilmastointi ja valaistus.



KUVIO 1. Toimistossa lämpötilamuutosta haluavien osuus (Neste, Air-Ix ja Ekono, s.3)

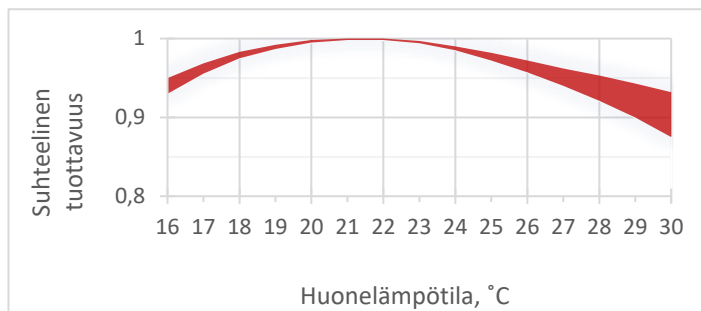
Ulkoilman lämpötilalla on merkitystä myös ihmisen tuntemaan optimaaliseen sisäilman lämpötilaan. Kunnolla tiivistetyissä ja lämpöeristetyissä nykyaikaisissa rakennuksissa suurimmalta osalta tuo selittyy kylmän vuodenajan lämpimämpänä pukeutumisena. Edes samankokoisille sekä samanhäilyisille ihmisille samoissa olosuhteissa ja samalla pukeutumisella sekä ruumiillisesti yhtä rasittavalla työllä ei löydy kaikille optimaalista samaa lämpötilaa eli lämpöaistimusta (Sandberg Esa, s.47). Jos lämpötilaa voidaan säätää yksilökohtaisesti, niin tyytyväisiä suuresta joukosta on enintään 95 %, kun ilman yksilökohtaista lämmön säätömahdollisuutta tyytyväisiä on enintään 80 % (Seppänen Olli, s.9). Jos lämpötilan lisäksi voidaan säätää henkilökohtaisesti myös ilmavirtauksia, niin voidaan saavuttaa jo yli 95 % tyytyväisyys. Lämpötilalla on merkittävä vaikutus myös ihmisten sairastavuuteen. Tuosta löytyy kuvio Työterveyslaitoksen tavoitetasoperustelumuiistiosta Lämpöolot (s.3), johon on koottu lämmön vaikutuksia. Alempana oleva kuvio 2 osoittaa tyypillisten sairusrakennusoireiden lukumäärän riippuvuuden huoneen lämpötilasta.



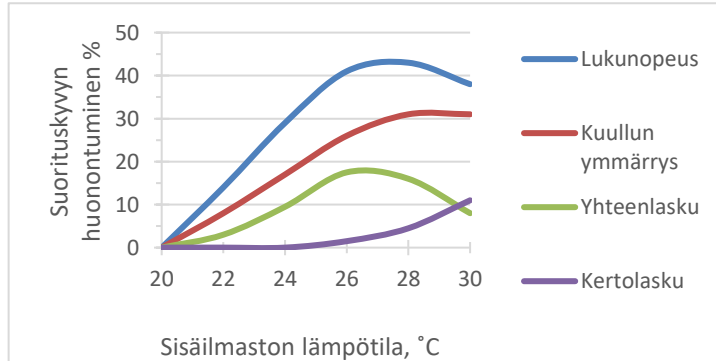
KUVIO 2. Sairusrakennusoireiden riippuvuus huonelämpötilasta (Seppänen Olli, s.22)

Ihmisen lämpöaistimus eli optimilämpötila vaihtelee hieman jopa kehon eri osilla. Siksi kirjallisuudessa annetut arvot ovat joko keskimääräisiä arvoja (tyytyväisien osuus suurin) ja eräs tämmöinen on aineenvaihdunnan synnyttämä lämmöntuotto (Sandberg Esa, s.43), tai on kerrottu vaihteluvälit, jotka nekin voivat perustua tietyn prosentuaalisen keskimääräisen tyytyväisyysmäärän saavuttamiseen, joista eräs on lämpötila (Seppänen Olli, s.10). Siis jo samankokoisten samaa työtä tekevien ihmisten kehon aineenvaihdunta tuottaa lämpöä hieman erilaisia määriä. Kehon tuottama lämpö riippuu kehon tekemästä työstä ja tuosta syntyvä ylimääräinen lämpö on saatava poistumaan ympäristöön niin, että kehon lämpötila ei nouse yli ihmisen normaalilämpötilan. Keskimääräinen ihmisen normaali-lämpötila on 37 °C, mutta todellisuudessa ihmisen lämpötila voi vaihdella henkilön fysi-kaalisista ja ympäristön syistä 35,8...37,8 °C välillä (Terveyskirjasto). Siksi ihmisten

viihtyvyyttä on testattu erilaisissa ilman olosuhteissa, joista eräs näistä on ilman nopeus ja eri ilman lämpötiloissa, eri vaatetuksilla sekä levosta raskaisiin työtehtäviin ja määriteltä ns. optimilämpötilat sen mukaan joissa suurin osa ihmisistä on ollut tyytyväisiä tai jokin tietty työsuoritus on sujunut parhaiten. Olosuhdeviihtyvyydellä on suora vaikutus työn suoritustehokkuuteen, kuten alempana oleva toimistotyön suhteellisen tuottavuuden ja huonelämpötilan yhteyttä kuvio 3 osoittaa. Alle 21 °C lämpötilassa sormet hieman kangistuvat (Seppänen Olli, s.42) ja näppäilyvirheet lisääntyvät. Mutta taas yli 20 °C lämpötilassa alkaa oppiminen ja eri aivotoiminnot kärsiä, kuten alempana olevasta sisäilmaston vaikutuksia henkisen työn aktiviteettiin ja rutiinityön virheettömyyteen kuvio 4 näkee.



KUVIO 3. Toimistotyön tuottavuuden ja huonelämpötilan yhteys (Sandberg Esa, s.42)



KUVIO 4. Sisäilmaston vaikutuksia (Neste, Air-Ix ja Ekono, s.5)

Ilman lämpötilaa valitessa joudutaan tekemään aina jonkinlainen kompromissi. Teknillisesti nykyaikaisesti rakennetuissa ja mitoitetuissa kohteissa ei viimeaikaisissa tutkimuksissa ole saatu ihan samanlaisia tuloksia kuin vanhempien tutkimuksien sen aikaisissa rakennuksissa. Tätä selittää ainakin ilmastoinnin parantuminen, eli ilmamäärien lisääntymisen ja parantuneen kohdentamisen tuoma ilman laadun keskimääräinen parantuminen. Lähiaikoina tehdyissä tutkimuksissa onkin selvinnyt, että tehostamalla ilmastointia ja etenkin tuomalla työpisteeseen riittävät henkilökohtaiset säätömahdollisuudet ja jopa kohdetulot, niin voidaan olosuhdeviihtyvyyttä parantaa, vaikka tilassa olisikin ylikämpöä.

(Henna Maula, s.59). Tämä selittynee ilman liikkeen aiheuttaman jäähdytyksen parantumisen lisäksi hengitysilman keskimääräisen hiilidioksidipitoisuuden pienenemisenä ja happipitoisuuden lisääntymisellä.

Ilman riittävä happipitoisuus ja tarpeeksi pieni hiilidioksidipitoisuus ovat tärkeitä myös ihmisen viihtyvyyden, virkeyden, terveenä pysymisen, työn tuottavuuden ja oppimisen kannalta. Näiden sopivan maksimipitoisuuden määrittämien on vastaavaa kuin lämpötilankin ja vastaavasti näitäkin on tutkittu, vaikkakin vähemmän ja jopa joskus lämpötilatutkimusten yhteydessä, sillä nämä kaikki vaikuttavat ihmisen viihtyvyyteen.

2.1.1 Ihmisen koon ja sukupuolen aiheuttama erilainen lämmön tuotto

Aineenvaihdunnan lämmöntuoton taulukot on normaalisti laadittu keskikokoisen pituudeltaan 1,75 m, painoltaan 75 kg ja ihon pinta-alaltaan 1,8m² keskimääräisen kokoisen miehen mukaan. Parempia ovat aktiivisuuden taulukot, joissa aktiivisuus annettu metyksikössä (taulukko 1.) Keskikokoisella miehellä 1 met vastaa aineenvaihdunnan tehona (lämmön tuottona) 105 W (1 met = 58,2 W/m²). Isompi pinta-alainen ihminen luovuttaa enemmän ja pienempi taas vähemmän lämpöä kuin keskimääräinen. Naisen optimaaliseksi tuntema lämpötila on usein korkeampi kuin miehen, joka johtuu yleensä hänen jonkin verran vähemmän eristävästä vaatetuksesta (Seppänen Olli, s.15), kun taas tietyssä tilassa eli raskaana olevan naisen lämmöntuotto nousee jonkin verran.

TAULUKKO 1. Keskimääräinen aktiivisuus (yhdistelty: Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella, s.12 ja Sandberg Esa, s.43)

Toiminnan & käyttötarkoituksen mukaan (suositus mitoitus)	Aktiivisuus (met)
Nukkuminen	0,8
Rauhallinen istuminen & Hotellihuone ja sairaalan hoituhuone	1,0
Lukeminen ja kirjoittaminen & Pienen asuinrak. makuuhuone	1,0
Konekirjoitus	1,1
Työpöydän järjestely & Opiskelu	1,2
Toimistotyö & Toimisto, neuvottelu- ja vastaanottohuone	1,2
Seisominen & Asuinkerrostalon makuuhuone ja terveyskeskus	1,2
Rauhallinen leikkiminen & Päiväkodin ryhmätila	1,4
Kevyt seisomatyö & Opettaminen ja myymälä	1,6
Normaali seisomatyö	2,0
Ruuanlaitto	16,-2,0
Autokorjaamotyö	2,0-3,0
Liikkuminen & Liikuntahalli	5,0

2.1.2 Ihmisen liikkuvuuden aiheuttama lämmön tuotto

Ihmisten liikkuvuus eli liikkuminen saa raskuuden mukaan enenevästi kehon tuottamaan lämpöä. Vanhojen ihmisten vähentynyt lämmöntuotto selitetään liikkuvuuden ja liikku-
misen vähenemisellä sekä ääreisverenkierron heikkenemisellä (Sandberg Esa, s.47).

2.1.3 Yleiskunnan aiheuttama lämmön tuotto

Hyväkuntoisen ihmisen hapenotto-kyky on parempi kuin hänen ollessa huonokuntoinen (Terveyskirjasto Duodecim). Hyväkuntoisen tarvitsee siis käyttää vähemmän energiaa hengittämiseen, sillä hänen hengityksensä tiheysväli on harvempi tai nopeus pienempi kuin hänen ollessa huonokuntoisempi. Tämä ero vielä lisääntyy huonokuntoisen hengästyessä helpommin. Tämä näkyy laitesukeltajien ilman kulutuksen laskuissa, jonka jotkin nykyaikaiset pullon painetta ja syvyyttä mittaavat sukellustietokoneet laskevat jopa reaaliajassa, kun niille kerrotaan pullon tilavuus. Tuo perustuu pullon paineen ja tilavuuden sekä sukellussyvyyden perusteella laskettuun ilmapulutukseen. Kokeneen ja kunnoltaan heikon sukeltajan ilmapulutus on arviolta 25 dm³/min, kun taas kokeneen ja kunnoltaan hyvän ilmapulutus on arviolta 15 m³/min. Tämän ilman kulutuksen muutoksen ovat useat sukeltajat todenneet sukeltaessaan eri kuntoisena ja seurataessaan ilman kulutustaan.

2.1.4 Pukeutumisen aiheuttama lämmöneristys

Pukeutumisella on merkittävä vaikutus lämmön luovutukseen, sillä se vaikuttaa ihmisen eristävyyteen. Tämän voi todeta alempana olevasta taulukko 2.

TAULUKKO 2. Eräiden vaatekokonaisuuksien lämmöneristävyksiä (Sandberg Esa, s.45)

Vaatetus	clo	m ² C/W
Naisten alushousut, shortsit, T-paita, ohuet sukat ja sandaalit	0,30	0,050
Alushame, sukkahousut, hihallinen kesäleninki ja sandaalit	0,45	0,070
Lyhyet alushousut, lyhythihainen paita, ohuet housut, sukat ja ken-	0,50	0,080
Alushame, sukkahousut, sandaalit, hame ja lyhythihainen paita	0,55	0,085
Alushousut, paita, housut ja kengät	0,70	0,110
Alushousut, verryttelypuku, pitkät sukat ja lenkkikengät	0,75	0,115
Pikkuhousut, alushame, hame, paita paksut polvisukat ja kengät	0,80	0,120
Alushousut, paita, hame, takki, liivit ja kengät	1,00	0,155
Alushousut, paita, housut, takki ja kengät	1,00	0,155

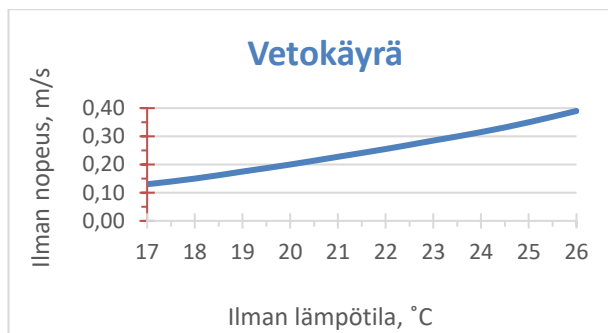
2.1.5 Syöminen ja sen vaikutus lämmön tuottoon

Vaikka ihmisen kehoon onkin rasvana varastoitunut energiaa, niin normaalitilanteessa tarvitsemansa energian ihminen saa syömästään ruuasta. Varastoituneena olevan rasvan polttaminen energiaksi on hidasta ja elimistö käyttää sitä vasta kun on selvä energian puute. Varastoitunut rasva toki toimii myös jonkinmoisena eristeenä, mutta lisää vastapainoksi ihon jäähdyttävää pinta-alaa. Rasvaisen tai hiilihydraattisen ruokailun jälkeen on havaittu ainakin erilainen hengitysrytmi, sillä nuo vaativat erilaisia määriä happea polttaaksensa noiden energian ihmiselle käyttökelpoiseen muotoon. Hetken päästä ruuan syönnin jälkeen on pieni lämpöenergian tuottopiikki, joka kuitenkin tasoittuu melko pian. Tuon jälkeen koetaan usein tietynlainen ”väsy”-hetki, jolloin elimistö ainakin yrittää mennä osittaiseen lepotilaan ja jota ei saa sekoittaa ’huonon’ ilman aiheuttamaan väsymykseen. Tuolloin tuottopiikin aiheuttama ykilämpö pääsee poistumaan, mutta jos tuo pitkittyy, niin voi tulla jopa vilu. Silloin kun ruoka loppuu mahalaukusta, niin energian tuotantokin häviää ja tällöin lämmöntuotanto pienenee, sillä vasta tarpeeksi pitkän ajan kuluttua alkaa varastoituneena olevan rasvan poltto. Myös ruuan ja juoman lämpötilalla on hetkittäinen vaikutus lämmöntuotantoon. Näistä voi lukea lisää Helsingin sanomista ja muualtakin.

2.1.6 Ilman kosteuden ja liikkeen vaikutus lämpötilan aistimukseen

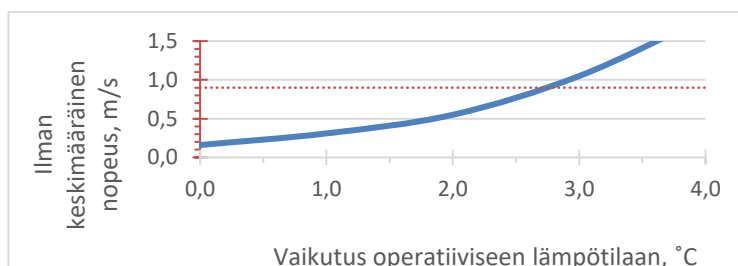
Ilman kosteus vaikuttaa lämpötilan tuntemukseen siten, että 10 %RH muutos vaikuttaa 0,3 °C verran lämpöaistimukseen (Sandberg Esa, s.45), eli ilman kuivuessa optimilämpötila nousee, kun taas kosteuspitoisuuden noustessa optimilämpötila laskee. Siis 25 %RH kosteuspitoisuudessa ja 22 °C lämpötilassa on lähes sama lämpöaistimus kuin 58 %RH kosteuspitoisuudessa ja 21 °C lämpötilassa. Yleensä taulukoissa lämpötilat on ilmoitettu 50 %RH kosteudelle. Kesällä sopiva ilman kosteus noin 50...60 %RH, mutta 35...70 %RH on vielä käypä kosteuspitoisuus, kunhan ei ole koko aikaa. Talvella sopiva ilman kosteus noin 25...40 %RH, mutta 20...45 %RH on vielä käypä kosteuspitoisuus. Nämä kosteuspitoisuudet on muodostettu eri materiaalien suositusten perusteilla, joista yksi on Hengitysliiton sivu. Kuivassa ilmassa iho sekä suu kuivuvat ja hilseilytaipumus kasvaa sekä ilmassa pölyä, joka useille ihmisille synnyttää erityisen paljon ärsytystä, kun taas kosteassa ilmassa mikrobit kasvavat ja homeet viihtyvät (Neste, Air-Ix ja Ekono, s.15).

Jotkut tuntevat ilman liikenopeuden toisia helpommin vedoksi. Tuo tunne riippuu myös ilman nopeuden, vaihtelutaajuuden ja lämpötilan lisäksi ilmanjaon aiheuttamasta ilman turbulenssisuudesta, eli turbulenssiasteesta, joka kuvastaa liikkuvan ilman pyörteilyä. Tässä sekoittava ilmanvaihto on huonoin ja syrjäyttävä sekä kerrostava parempia. Silloin kun ei ole henkilökohtaista ilmavirtauksen säätömahdollisuutta tulee ilman nopeuden olla sekoittavalla ilmanvaihdolla toimistotilojen ja koulujen oleskelualueilla normaalisti alle 0,2 m/s, tehostustilanteessa alle 0,25 m/s ja jäähdytystilanteessa alle 0,3 m/s. Tuo riippuu sisäilman lämpötilasta, jonka näkee alla olevasta kuvio 5.



KUVIO 5. Ilmannopeuksien maksimit (Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, s.13).

Eri lähteitä tulkiten voidaan päätellä, että syrjäyttävällä ja kerrostavalla systeemillä toteutettuna voidaan ilmannopeutena normaalisti käyttää ainakin 0,25 m/s, tehostustilanteessa 0,30 m/s ja jäähdytystilanteessa 0,35 m/s, kun tavoitellaan vähintään saman tyytyväisyysmäärän saavuttamista kuin syrjäyttävällä (Neste, Air-Ix ja Ekono, s.12). Teollisuustiloissa voidaan käyttää suurempiakin nopeuksia ja tuo riippuu työn kuormittavuudesta. Keskiraskaan työtiloissa voidaan noihin aiempiin arvoihin lisätä ilmavirtaa 0,05 m/s ja raskaan työn tiloissa 0,1 m/s. Kun on henkilökohtainen säätömahdollisuus, niin ilman nopeutta voidaan lisätä vielä 0,05 m/s. Jäähdyttämättömällä ilmalla viilennysvaikutuksen saavuttamiseksi on 29 °C lämpötilassa käytetty jopa 1,4 m/s nopeutta, jonka jäähdytysvaikutus-tuntemusta alempana oleva kuvio 6 esittää. Näistä löytyy kirjallisuudesta (Sandberg Esa, s.47-50 ja Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa).



KUVIO 6. Ilman ka. liikenopeuden jäähdyttävä vaikutus SFS-EN ISO 7730:n mukaan.

2.1.7 Lämpötilan pysyvyyden ja kerrostuneisuuden vaikutus

Vaikka ilman lämpötila, ilman liikenopeus ja muut ilman arvot olisivat kunnossa, voi ainoastaan lämpötilan muuttuminen liikaa liian lyhyellä aikavälillä viedä viihtyvyyden. Tuon rajoja esittää alempana oleva taulukko 3, joka kertoo lämpötilan huojumisen maksimi-arvot ajan mukaan, joista jokaisen pitää joko alittua tai olla korkeintaan saman suuruinen. Myös pystysuorat lämpötilaerot aiheuttavat ihmisille tuntemuksia. Siksi noille on annettu vuorokautiset sallitut vaihteluvälit, kuten on alempana olevassa taulukossa 4, joka sisältää toimisto- ja opetustilojen sekä vastaavien työtilojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelu-arvoja yksinkertaistettuna.

TAULUKKO 3. Lämpötilan huojumisen maks. ajallisesti (ANSI/ASHRAE 55-2013, s.11)

Tarkastelujakso, h	0,25	0,5	1	2	4
Operatiivisen lämpötilan maksimuutos, °C	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3

TAULUKKO 4. Suunnittelu-arvoja (tulevan Sisäilmastoluokitus 2018 luonnos, s.13 ja 29)

Suure	S1	S2	S3
Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu-arvo, °C	24,5	25,5	27
90 % ajan maksimi/minimi tavoitelämpötilaero	+0,5/-2,5	+0,5/-4,5	+0/-7
Lämmitysjärjestelmän suunnittelu-arvo, °C	21,5	21,5	21
90 % ajan maksimi/minimi tavoitelämpötilaero	+1/-1	+1,5/-1	+4/-1
Pystysuuntainen lämpötilaero 0,1 m ja 1,1 m	±2	±3	±4

2.2 Valomäärän vaikutus viihtyvyyteen

Valaisun valaistusvärien eli aaltopituuksien ei ole valaisun tutkimuksissa havaittu aiheuttavan muutoksia ihmisen optimilämpötilan tuntemukseen (Seppänen Olli, s.15), mutta uusimmissa tutkimuksissa on läheltä katsottavien kännyköiden ja tablettien sinisen valon havaittu kuitenkin vaikuttavan vireyteen (MikroBitti 2/2018, s.15). Valaistusvoimakkuudella on siis merkitystä ihmisen vireyden kannalta ja sinen valo on merkitsevin, sillä liian vähäinen valaistus saa ihmisen kehon tuottamaan Serotoniinin johdosta unihormonia, eli pimeähormonia, jonka kauppanimeksi on päätynyt Melatoniini (Terveyskirjasto Duodecim). Tuota ihmisen luonnollisestikin tuottaa käpyrauhasessaan Tryptofaanissa, jolla on myös mielialaa nostava vaikutus. Riittävän suuri valaistusvoimakkuus on yksilökohtaista ja tässä on suuriakin eroja. Tulevan Sisäilmastoluokitus 2018 luonnos määrittää valaistusvoimakkuuden tavoite-minimiksi työalueella yli 500 lx ja lähialueella yli 300 lx.

2.3 Ilman laadun vaikutus viihtyvyyteen ja terveyteen

HTP 2016 kertoo eri aineiden pitoisuuksien maksimit altistumisrajat, jossa tuo 8 h aika tarkoittaa, että HTP 2016 mukainen altistumispitoisuus saa syntyä 8h ajan vuorokaudessa, mutta ei enää enempää sinä vuorokautena. Eli jos altistus on vuorokautista, kuten hiilidioksidipitoisuus on, niin tuon pitoisuus ilmassa saa olla vain tuon 8 h altistumisraja-arvo jaettuna vuorokauden tunneilla. HTP 2016 mukaan hiilidioksidipitoisuus on haitallinen ollessaan yli 5000 ppm (8 h), eli 9100 mg/m³, mutta käytännössä tuon pitoisuus saa olla keskimäärin korkeintaan noin 1666 ppm. Korkeampien hiilidioksidipitoisuuksien vaikutuksista voi lukea lisää vaikka OVA-ohjeesta. Asumisterveysasetuksen mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja täyttyy silloin kun sen pitoisuus on 1150 ppm (2100 mg/m³) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (STM 2015). Tuo tarkoittaa käytännössä noin 1550 ppm, joka on selvästi jo työsuoritusta ja oppimista heikentävä pitoisuus. Mutta tämän vaikutuksen suuruus on henkilökohtainen ja riippuu myös ainakin lämpötilasta ja happipitoisuudesta. Sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta annettu asetus antaa suunnittelukriteeriksi hiilidioksidipitoisuuden nousun enimmäisarvolle tilan käyttöaikana 800 ppm yli ulkoilman pitoisuuden, eli käytännössä noin 1200 ppm. Tätäkin on kritisoitu liian suureksi, sillä kun happipitoisuus samalla laskee, niin tämäkin on työsuorituksia ja oppimista haittaava pitoisuus. Tämän takia Sisäilmastoluokitus, josta on kohta tulossa uusi versio, on ottanut tähänkin kantaa. Alapuolella olevaan taulukko 5 on listattu nuo hiilidioksidipitoisuuden arvot (ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm).

TAULUKKO 5. CO₂ tavoitearvot (tulevan Sisäilmastoluokitus 2018 luonnos, s.14)

Suure	S1	S2	S3
CO ₂ maksimi ulkoilman pitoisuuden lisäksi, ppm	< 350	< 550	< 800

S2:n määrittystä on alettu usein käyttämään valtion ja kunnan rakennuksille tai ainakin kouluille ja päiväkodeille. 2018-vuoden päivitystä kaipaava Rakennussuunnitteluohje (Tampereen kaupungin tilakeskuksen Rakennussuunnitteluohje, s.49) määrittelee, että ”Korjauksissa pyritään vähintään sisäilmastoluokan S2 tavoitearvoihin”. Vaikka tämän noin 950 ppm useimmat jo tuntevat käyväksi, niin jotkut kuitenkin kokevat jopa tämän pitoisuuden väsyttävänä, joka heikentää työpanosta ja oppimista. Tuon vaikutus korostuu varsinkin jos on myös yllämpöä ja heikkovalotehoinen valaistus. S1:n noin 750 ppm määrittely on jo melko hyvälaatuinen. Nyt tehtyjen pienimuotoisten testausten perusteella alle 700 ppm pitoisuuksissa ei helposti havaitse eroja. Mutta jo 800 ppm pitoisuudessa voi huomata virkeydessä ja toiminnoissa pienenä väsymyksenä, joka pahenee hiilidioksidipitoisuuden noustessa.

Toimistotyössä ihmisen hiilidioksidin tuotto on alle $20 \text{ dm}^3/\text{h}$ ja opetustyössä vain jonkin verran tuon päälle. Tälle Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa antaa lisää arvoja. Ihmisen uloshengityskaasun hiilidioksidipitoisuus on noin 5 % eli 50000 ppm. Yksilön tai kun tiedetään tilan henkilömäärä heidän kehon pinta-aloineen sekä fyysinen aktiivisuus, niin tiloihin kohdistuva hiilidioksidikuormitus V'_{CO_2} (dm^3/s) saadaan laskettua yhtälöllä 1. (Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella, s.5)

$$V'_{CO_2} = RQ \times \frac{0,00276 \times A_{keho} \times M}{0,23 \times RQ + 0,77} \quad 1.$$

jossa osamäärä RQ on 0,7-1,0, lepotilassa 0,85 ja kevyessä toiminnassa 0,82-0,83, $A_{keho} = (W^{0.5} \times H^{0.5})/60$, jossa W on paino (kg) ja H pituus (cm), M (met) on fyysinen aktiivisuus, joka saadaan vaikka taulukosta 1

Silloin kun tulo- ja poistoilmavirtaukset ovat samoja, eikä ole ilman tasaisesti sekoittumisen hyötysuhdetta heikentäviä oikosulkuvirtauksia tai tuloilman suuntaamisvirheitä sekä on tiedossa tuloilman hiilidioksidipitoisuus, haluttu maksimihiiilidioksidipitoisuus ja tilassa olevien hiilidioksidituotto, niin minimi-ilmavirtaus q_{ulko} (m^3/s) sekoittavassa ilmanvaihdoissa halutun hiilidioksidipitoisuuden ylittämisen estämiseksi saadaan laskettua yhtälöllä 2. (Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella, s.6)

$$q_{ulko} = \frac{G}{C_{maksimi} - C_{ulko}} \quad 2.$$

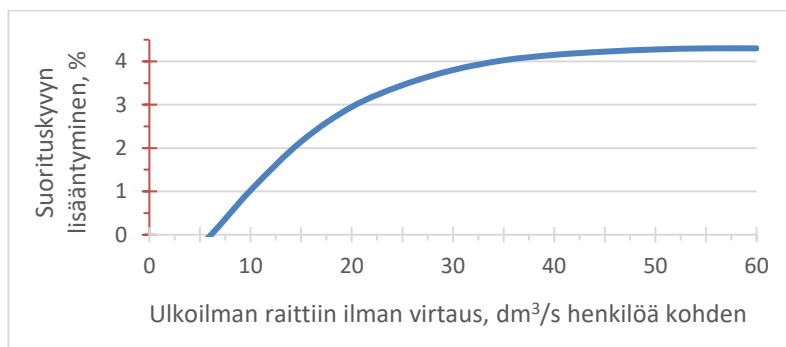
jossa tuloilman hiilidioksidipitoisuus C_{ulko} (ppm) on noin 400 ppm, haluttu maksimihiiilidioksidipitoisuus $C_{maksimi}$ (ppm) on sisäilman maksimi ja tilassa olevien hiilidioksidituotto G (cm^3/s).

Kun halutaan selvittää tietyllä hiilidioksidituotolla eri aikoina olevan tilan hiilidioksidipitoisuutta C'_{CO_2} (ppm) ennen maksimihiiilidioksidipitoisuuden saavuttamista, jota tasapainotilaksikin kutsutaan, niin tuo saadaan laskettua yhtälöllä 3. (Seppänen Olli, s.103)

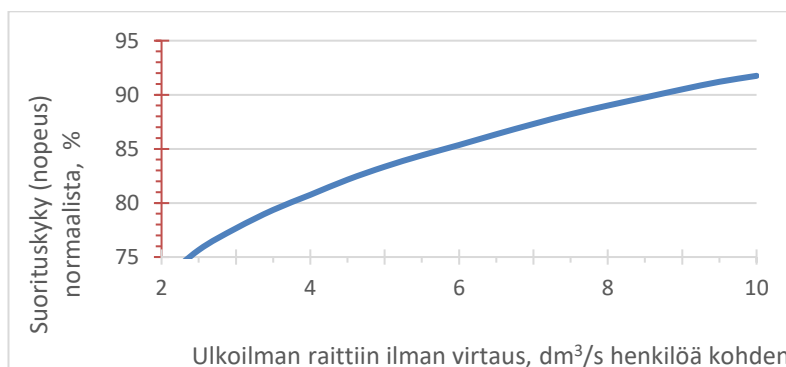
$$C_{CO_2}^t = C_{CO_2}^0 \times e^{-\frac{t}{\tau}} + C_{maksimi} \times (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad 3.$$

jossa $C_{CO_2}^0$ (ppm) on hiilidioksidin alkupitoisuus sisäilmassa,
 τ (s, min tai h) on aikavakio = $1/n$ tai *tilan tilavuus/ilmavirta*,
 n (1/(s, min tai h)) on ilmanvaihtokertaisuus (*ilmavirta/tilan tilavuus*),
 $C_{maksimi}$ (ppm) on haluttu maksimihiilidioksidipitoisuus ja
 t (s, min tai h) on tarkasteltu ajanhetki.

Tilan hiilidioksidipitoisuuden ja kohta tämän jälkeen käsiteltävän tilan happipitoisuuden vaikutusta ihmisen toimintoihin kuvaa alempana olevat kuvio 7, joka kertoo työn tuottavuuden paranemisesta toimistotyössä riippuen ilmanvaihdon raittiin ilman määrästä henkilöä kohden ja kuvio 8, joka kertoo koululaisten oppimisnopeuden riippuvuudesta ilmanvaihdon raittiin ilman virtaukseen henkilöä kohden.



KUVIO 7. Tuottavuuden nousu ilmanvaihdon parantuessa (FINVAC, s.6).



KUVIO 8. Oppimisnopeuden riippuvuus ilmanvaihdon määrästä (FINVAC, s.6).

Ulkoilman happipitoisuus on sen verran suuri (noin 21 %, eli 210000 ppm), että normaalisti ilmastoiduissa tiloissa tuo ei yksin ja ainakaan ensimmäisenä saa aikaan ihmiselle

viihtyvyysmuutoksia, mutta yhdessä nousevan hiilidioksidipitoisuuden kanssa tälläkin on vaikutuksensa ja muulloinkin puhutaan usein yhteisvaikutuksista. Tuo vielä korostuu jos lämpötilakin nousee ja valovoimakkuus on heikko. Ihmisen uloshengittämässä kaasussa on happea 16...17 % (Timo Vikman, s.192), joten tuon perusteella ihminen voisi tuota vielä kertaalleen hengittää. Alempana oleva taulukko 6 selventää asiaa.

TAULUKKO 6. Hapen puutteen vaikutukset (HTP-arvot 2016, s.54)

Happipitoisuus ilmassa	Vaikutukset
13-16 %	Huimaus ja hengenahdistus ponnisteltaessa Sykkeen nousu ja hengitystilavuuden kasvu Huomiokyvyn lasku
10-13 %	Arviointikyvyn virheitä Nopea väsyminen ja pyörtyminen ponnisteltaessa Vakavissakaan vammoissa ei kivun tuntoa Tunnekokemuksen epävakautta
6-10 %	Pahoinvointia ja oksentelua Kyvyttömyys vaativampiin lihasliikkeisiin tai ylipääntänsä liikkumiseen
alle 6 %	Tajunnan menetys ja kooma. Nopeasti tappava.

Ihmisen uloshengityskaasun hiilidioksidipitoisuus on suurin piirtein 5 % eli 50000 ppm, joten se on happea merkityksellisempi, sillä tuo pitoisuus on 10-kertainen HTP 2016 (8h) -arvoon verrattuna. Siksi suljetun kierron laitesukelluslaitteissa hengitetystä ilmasta lähes kaikki hiilidioksidi poistetaan vaikka kalkkisuodatuksella ja tuon jo kertaalleen käytetyn ilman sekaan lisätään puhdasta happea ennen uudelleenkäyttöä niin, että happipitoisuus pysyy haluttuna (Timo Vikman, s.192-193). Ihminenkin tarvitsee hieman hiilidioksidia varastoiden tuota itseensä ja tuon liian vähiin käynti voi johtaa myös tajuttomuuteen, josta voi lukea Hoitava Hengitys -sivulta.

2.4 Melun vaikutus

Myös äänitaso vaikuttaa ihmisen viihtyvyyteen. Tässäkin jotkut ovat toisia herkempiä varsinkin nukkumaan yritettäessä. Liiallinen taustamelu haittaa viihtyvyyden ohella myös työskentelyä ja siksi tuolle on määritetty yläarvoja. Tästä voi lukea lisää Valviran sivuilta. Tulevan Sisäilmastoluokitus 2018 luonnos määrittää opetustilojen LVI-laitteille korkeintaan 33 dB, mutta tilaan saa tulla muista lähteistä tuota suurempiakin äänitasoja. Tilan äänitaso ei ole sen suurimman yksittäisen äänitason aiheuttaman laitteen mukainen, vaan kaikkien ääntä aiheuttavien laitteiden yhteisvaikutus.

2.5 Paine-erojen vaikutus

Tässä seuraavaksi käsitellään se, että miten paine-erot määriteltiin ennen tätä vuotta 2018. Vuonna 2009 julkaistun 3-revisioidun Asumisterveysoppaan (Ympäristö ja Terveyslehti, s. 64) mukaan koneellisessa ilmanvaihdossa paine-erot ulkoilmaan nähden tulisi olla SFS 5512 mukaisesti mitattuna 0...-2 Pa (huomautetaan sääerojen vaikuttavat tähän) ja Rakennussuunnitteluohjeen (Tampereen kaupungin tilakeskuksen Rakennussuunnitteluohje 2015, s.49) mukaan rakennuksen alipaineen tavoitearvo on 1 Pa. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje (Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, s. 14) kertoo, että alipaineen ollessa suurempi kuin 15 Pa, tulee alipaineen syy selvittää ja alipainetta mahdollisuuksien mukaan pienentää, sillä alipaineen kasvaessa lisääntyy sen rakenteista epäpuhtauksia huonetilaan erottava voima. Jo silloin kun keskimääräinen alipaineisuus on 6...15 Pa välillä, niin pistemäiselle pintalämpötilalle annetaan tietty korjauskerroin (Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, s. 15, taulukko 2), jolla huomioidaan alipaineen aiheuttama vaikutus pintalämpötilalle ja erotetaan se näin kylmäsillasta sekä todetaan, että alipainetta pienentämällä rakenne on mahdollista saada toimivaksi. Yksinkertaistettuna voidaankin todeta, että rakennuksen keskimääräinen alipaine olisi niiden mukaan hyvä olla korkeintaan 5 Pa. Kosteiden tilojen paine-erolle ulkoilmaan nähden sopiva on vielä jopa -5...-10 Pa. Siksi nämä tilat olisi järkevintä sijoittaa niin, etteivät ne ole ulkoseinillä. Ylipaineesta Asumisterveysasetuksen soveltamisohje sanoo (Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, s. 18):

Rakennuksen ylipaineisuus vaikuttaa mm. vuotoilmavirran suuntaan ja huoneilman kosteuden tiivistymisriskiin pinnoilla tai rakenteissa. Jos rakennus on ylipaineinen ulkoilmaan nähden ilmanvaihdon toiminnasta johtuen, tulee ylipaineen syy selvittää ja ilmanvaihtoa tasapainottaa. Hetkellinen ylipaineisuus on mahdollista tuuliolosuhteista tai rakennuksen geometriasta johtuen, eikä vaadi korjaustoimenpiteitä.

Toisin sanoen normaalimenetelmillä suunnitelluissa rakennuksissa (suunniteltu joko alipaineiseksi tai saman paineiseksi) ulkoseinää vasten olevissa tiloissa ylipainetta ei saisi olla kuin hetkellisesti tuuliolosuhteista johtuen. Muutoin todennäköisesti rakenteiden sisälle muodostuu kosteutta (riippuu myös lämpötiloista ja kosteuksista), joka taas pilaa rakenteen normaalia selvästi nopeammin

Nykyään on alettu puhumaan jopa ihan paine-erottomista rakennuksista sekä tehty tuon mukaisesti määritykset ja ohjeet, joka ei ole täysin mahdollista juuri ulkoilman muutosten takia, eli ulkoilman paineen, tuulen, kosteuden ja lämpötilan vaihteluiden takia. Ympäristöministeriön Suomen säädöskokoelman asetuksen 1008/2017 (voimassa vuodesta 2018 alkaen) määräys 21 sanoo:

Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan.

Ja FINVACin Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen sanoo:

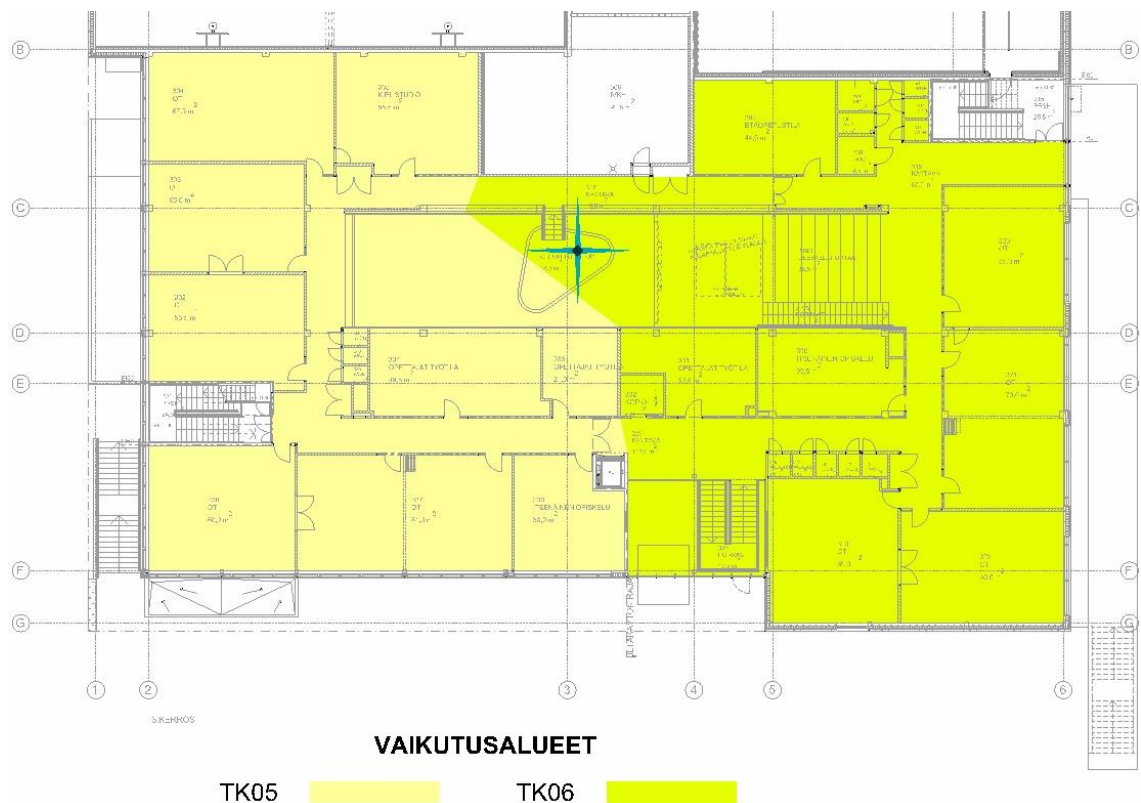
Käyttötilanteen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat mitoitetaan yleensä yhtä suuriksi. Rakennuksen ilmavirrat tulee mitoittaa siten, että rakennus ei ole miltyään osin jatkuvasti ylipaineinen ja että paine-ero vaipan yli ei ylitä 5 Pa tavanomaisissa sääolosuhteissa.

Nämä siis koskevat varsinkin ulkoseinällisiä tiloja. Noiden tulo- ja poistoilmavirtaukset tulee mitoittaa samoiksi ja toimivuuden takia tämän säännön pitäisi koskea myös ilmanvaihdon ilmamäärien säätöä. Kosteat tai hajuja levittävät tilat kannattaa sijoittaa niin, että ne eivät ole ulkoseinillä, sillä niissä on hyvä olla aina pienehkö alipaine niitä ympäröiviin tiloihin nähden. Tilassa ulkoilmaan nähden olevan ylipaineen vaikutus tuossa jo kerrottiinkin. Eli tuulettomalla kelillä normaalitilanteessa sitä ei saa olla ollenkaan ja tuuliselakaa kelillä sitä ei saisi olla kuin hetkellisesti ja silloinkin normaali-ilmoilla maksimissaan 5 Pa.

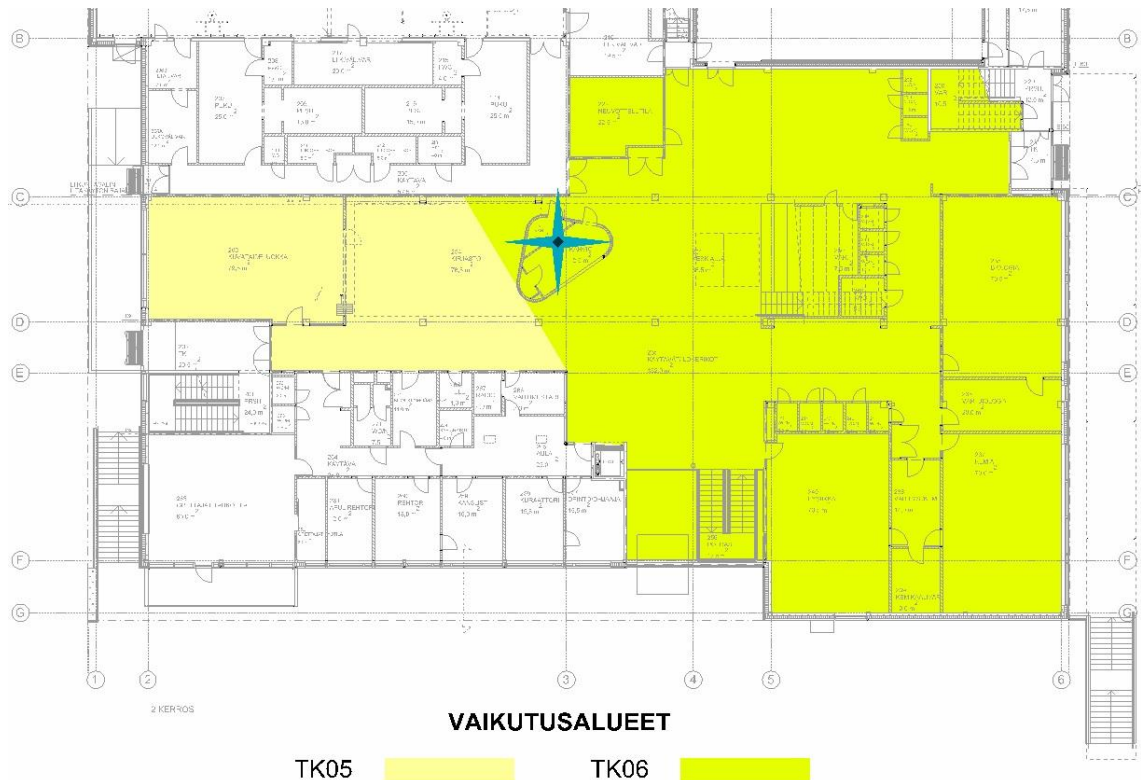
3 KOHTEEN TIEDOT

Tutkittava kohde on Finnentie 42 sijaitseva Kangasalan lukio, joka valmistui vuonna 2012. Samalla tontilla sijaitsee myös Pikkolan koulun lisärakennus (askartelu- ja erikois-tilat) ja Pikkolan koulu, jossa sijaitsee yhteinen ruokala. Lisäksi tien toiselle puolelle on valmistumassa Tredun tilat. Tätä kokonaisuutta on alettu kutsua Pikkolan alueen koulutuskeskukseksi. Tutkimustyössä tutkitaan varsinaisesti tuon lukion opetustiloja, mutta myös opettajien ulkoseinään rajoittuvista tiloista on otettu paine-eromittaukset.

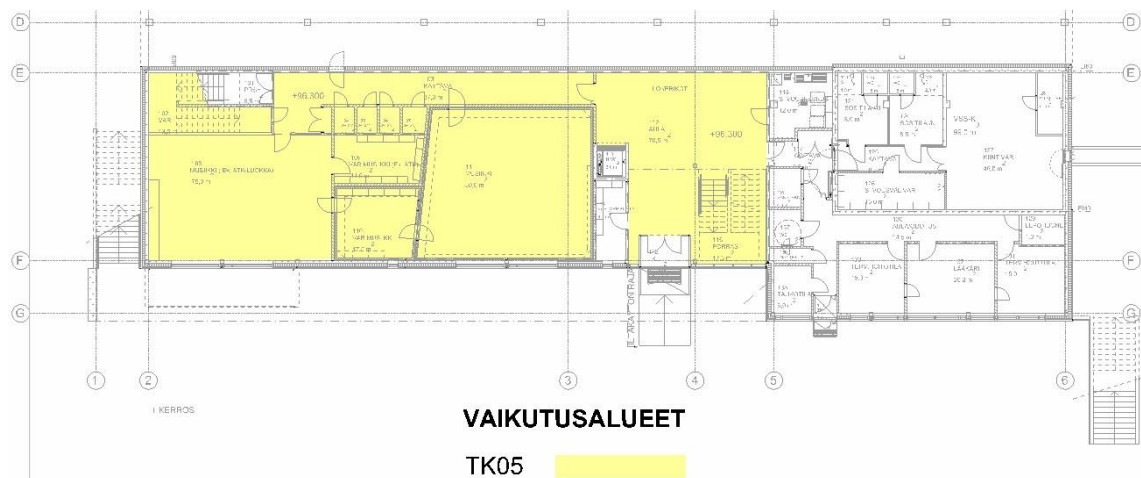
Opetustiloja palvelevat TK05 ja TK06 ilmastointikoneet ja niiden palvelualueet löytyvät alempana olevista kuvista. Opettajien tiloja palvelee oma ilmastointikone, kuten myös yhteisesti sosiaali-, terveydenhoidon ja lääkärin tiloja. On myös liikuntatilat apu-, puku- ja pesutiloineen sekä auditorio ja tekniset tilat sekä niiden ilmastointikoneet.



KUVA 1. Lukion 3-kerroksen TK05 ja TK06 ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet



KUVA 2. Lukion 2-kerroksen TK05 ja TK06 ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet



KUVA 3. Lukion 1-kerroksen TK05 ilmanvaihtokoneen vaikutusalue

Yöaikaan eli määritetyn käyttöajan ulkopuolella ilmastointikoneet oli ohjelmallisesti määritetty vaihtumaan päiväajan kanavapaineista hieman alle puoleen ja kohdepoistot sulkeutumaan, mutta erillisten poistopuhaltimien asetuksien annetaan olla samana koko ajan. IV-koneiden päiväajat oli asetettu seuraavasti:

- TK01 klo 8.00-21.00 arkisin
- TK02 klo 5.15-21.50 arkisin ja lauantaisin
- TK03 klo 7.00-22.30 maanantaisin ja 7.00-21.30 muulloin arkisin ja lauantaisin
- TK04 klo 7.00-16.00 arkisin
- TK05 klo 7.00-16.30 arkisin
- TK06 klo 7.00-15.30 arkisin

- TK07 klo 6.00-18.00 arkisin
- PK17 vetokaappi sisällä asetetun mukaisesti
- PK18 klo 6.00-23.00 arkisin
- PK19 vetokaappi sisällä asetetun mukaisesti
- Huippuimurit aina päällä

Ennen varsinaisia lukion mittauksia on mittareille katsottu keskinäiset korjauskertoimet ja annetut arvot ovat korjauskertoimella kerrottuja. Vaikka tulokset ovat siksi keskenään vertailukelpoisia, niin noiden todellisia heittoja ei tarkistettu. Noista ns. kalibroitiin vain hiilidioksidipitoisuuden 400 ppm taso (yön aikana automaattisesti), mutta ei ollut todisteita noiden kaikkien enää mittaavan ilmoitetulla tarkkuudella, sillä keskinäinen vertailu jo todisti tuota vastaan. Tuon takia mittaustarkkuutta ei pysty laskemaan, mutta tässä ei sille olekaan tarvetta, sillä karkeampikin tarkkuus riittää näihin päätelmiin. Vertailuun mukaan otetut olosuhdemittauspäivät olivat 20.12.2017 ja 15.12.2018, jonka takia nämä mittaukset pätevät vain lämmityskaudella, eivätkä näin huomioi lämpimämmän ulkoilmakauden mahdollisia ylälämpötiloja.

Paine-eromittaukset on mitattu melko tuulettomalla kelillä, mutta muutama pistomittaus on otettu myös tuulisemmalla kelillä. Käytännössä paine-eromittaukset on mitattu tilan ja käytävän välillä, ja sitten mitattu käytävän ja ulkoilman välinen paine-ero. Näiden tietojen perusteella on laskettu tilan paine-ero ulkoilmaan nähden. Tämä lisää hieman mittausvirhettä verrattuna paine-eron mittaukseen suoraan tilan ja ulkoilman välillä, mutta tässä riitti hyvin tällä tavalla saatava tarkkuus.

TAULUKKO 7. Opetustilojen suunnitellut ilmavirtaukset ja pinta-alat sekä todelliset pulpettimäärät ja niiden perusteella nyt lasketut ilmavirtaukset

Tila	Suunniteltu mitoitus pinta-alalle		Käytännössä mitoitus maks. henkilöille	
	S2:n ilmavirtaus dm ³ /s	Pinta-ala m ²	Pulpettimäärä kpl	S2:n ilmavirtaus dm ³ /s
203	320	79,5	25	200
237	280	70	39	312
240	280	70,5	32	256
302	220	55,5	32	256
304	270	67,5	35	280
320	220	55	33	264
322	240	60	33	264
338	220	60	36	288
235	280	70,5	36	288
303	220	55	36	288
321	280	70	37	296
323	240	60	36	288
330	120	39,5	20	160
337	320	81	42	336

4 TOIMIVUUSTARKASTELU

Toimivuustarkastelun tarkoitus on *varmistaa, että uudis- tai korjausrakennuskohde vastaa mahdollisimman hyvin rakennuksen todellisen käytön tarpeita erityisesti sisäympäristön suhteen ja että rakennus on hyvä käyttää ja huoltaa ja että sen energiatehokkuus vastaa asetettuja tavoitteita* (Teuvo Aro ja (Antti Mäkinen), AX-Suunnittelu, s.2). Tämä tarkoittaa yksinkertaistettuna, että tiloissa ei saa olla liiallisia melu-, haju- tai pitoisuushaittoja ja lämpötilatkin pitäisi olla sopivia sekä valaistus riittävä. Energian kulutuksen tulee olla korkeintaan suunnitellun mukainen ja huoltotilat eivät saisi olla tukittuna tavaroilla ymv. Tämä toimivuustarkastelu oli ns. ylimääräinen, jonka takia sen laajuus ei ollut ihan määritysten mukainen ja varsinkin energiankulutus jätettiin tarkastelematta.

Kangas-alan kunnan virastolta sain käyttööni heidän viimeksi teettämiensä luokkatilojen IV-säätöjen mittauspöytäkirjat. Vaikka nuo oli tehty 27.10.2017 (TK06) ja 20.10.2016 (TK05), niin paine-eromittausten perusteella oli havaittavissa, että varsinkin 20.10.2016 tehtyjen säätöjen jo muuttuneen. Tämä tukee ilmavirtauksien säädön tehneen yrityksen työntekijän Kangasalan kunnalle antamaa lausuntoa, että nuo säädetyt ilmavirtaukset muuttuvat melko nopeasti säätöjen eläessä. Lisäksi noista selvisi myös, että lähes kaikkiin opetustiloihin oli säädetty tilakohtaisilla ilmavirtauksilla selvä alipaine, vaikka opetustilojen tulo- ja poistoilmavirtaukset oli suunniteltu samoiksi.

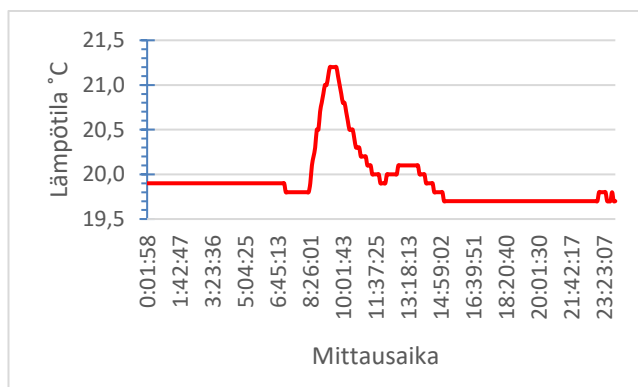
Aluksi tehtiin opettajille vapaaehtoinen nettikäyttäjäkysely, johon kyllä tuli vastauksia, mutta ei juuri kerrottu tai yksilöity ongelmia. Tuon, yksittäishaastattelujen ja paine-eromittausten perusteella valittiin tarkemmin tutkittavat tilat. Vaikka mittausjakso on ollut pidempi kuin yksi vuorokausi, niin tässä tarkastellaan vain yhden vuorokauden tilannetta. Mutta on yritetty valita ns. pitoisuuksien kannalta pahin mittausvuorokausi, jolloin mitausarvot ovat eniten nousseet. Ei kuitenkaan ole takuuta, että mitattuna ajanjaksona on ollut käytännön ns. pahin tilanne, eli oppilaiden määrä on ollut suurimmillaan. Myös paine-eromittauksia on suoritettu useampana päivänä.

4.1 Lämmitys

TAULUKKO 8. Tilojen min. ja maks. lämpötilat sekä min. lämpötilan nostotarve (talvi).

Tila	Lämpötila		nostotarve min. S3 °C	nostotarve min. S2 °C	laskutarve min. S3 °C	laskutarve min. S2 °C	maks. nousurajan 1 h ylitys °C
	min. °C	maks. °C					
203	19,8	21,2	0,2	0,7	0	0	0,2
237	20,4	22,4	0	0,1	0	0	0
340	20,1	21,3	0	0,4	0	0	0
302	20,6	22,2	0	0	0	0	0
304	20,2	21,8	0	0,3	0	0	0
320	19,4	21,6	0,6	1,1	0	0	0
322	21,0	22,1	0	0	0	0	0
338	19,9	21,9	0,1	0,6	0	0	0

4.1.1 Tilan 203 lämpötila



KUVIO 9. Tilan 203 lämpötila

Ylempänä olevista kuviosta 9 ja taulukko 8 näkee tilan 203 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila ei täytä S3:n tai S2:n minimisuositusta, mutta se täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Lämpötilan huippujen ero on 1 h mittausjakson aikana suurempi kuin määritelty, mutta lyhyemmillä tarkastusjaksoilla pysytään suositusten sisällä. Tämä tila on kuitenkin niin lähellä suosituksia ja lämpimää juuri sisään tulleista nuorista oppilaista sen verran ripeästi, että tämä ei todennäköisesti ole ongelmatila.

4.1.2 Tilan 237 lämpötila

Liite 2 olevasta kuviosta ja taulukko 8 näkee tilan 237 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila täyttää S3:n ja ei ihan täytä S2:n minimisuositusta, mutta se täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämän tilan lämpötilalle ei ole tarvetta tehdä oikein mitään.

4.1.3 Tilan 240 lämpötila

Liite 3 olevasta kuviosta ja taulukko 8 näkee tilan 240 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila täyttää S3:n ja ei täytä S2:n minimisuositusta, mutta se täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämän tilan lämpötila on melko käypä.

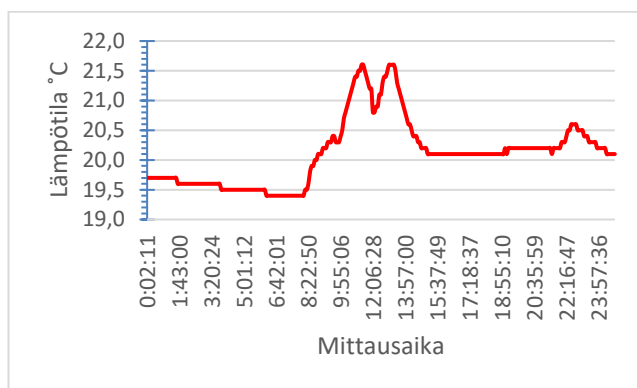
4.1.4 Tilan 302 lämpötila

Liite 4 olevasta kuviosta ja taulukko 8 näkee tilan 302 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila täyttää S3:n ja S2:n minimisuosituksen, ja myös täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämän tilan lämpötilalle ei ole tarvetta tehdä mitään.

4.1.5 Tilan 304 lämpötila

Liite 5 olevasta kuviosta ja taulukko 8 näkee tilan 304 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila täyttää S3:n ja ei täytä S2:n minimisuositusta, mutta se täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämän tilan lämpötila on melko käypä.

4.1.6 Tilan 320 lämpötila



KUVIO 10. Tilan 320 lämpötila

Ylempänä olevasta kuvio 10 ja taulukko 8 näkee tilan 320 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila ei täytä S3:n tai S2:n minimisuositusta, mutta se täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämän tilan ongelma on käytönajan alun liian matala sisälämpötila. Tästä lämpötilasta ei ehkä vielä ole suurta haittaa nuorille oppilaille, mutta kuitenkin tuo heikentää ensimmäisen puolen tunnin ajan etenkin kirjoittamiskykyä.

4.1.7 Tilan 322 lämpötila

Liite 7 olevasta kuviosta ja taulukko 8 näkee tilan 322 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila täyttää S3:n ja S2:n minimisuosituksen, ja myös täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämän tilan lämpötilalle ei ole tarvetta tehdä mitään.

4.1.8 Tilan 338 lämpötila

Liite 8 olevasta kuviosta ja taulukko 8 näkee tilan 338 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Lämpötila ei täytä S3:n tai S2:n minimisuositusta, mutta se täyttää S3:n ja S2:n maksimisuosituksen. Pysytään myös tarkastusjaksojen suositusten sisällä. Tämä on kuitenkin sen verran lähellä suosituksia ja lämpiää nuorista juuri sisään tulleista oppilaista sen verran nopeasti, että tämä ei todennäköisesti ole tämän takia ongelmatila.

4.2 Vesi ja viemäröinti

Vesi- ja viemäriasioissa ei ollut kyselyn perusteella mainittavia ongelmia. Joitain vesipisteitä testattiin ja todettiin toimiviksi sekä vesipaineiltaan riittäviksi. Mitään viemärihajuja ei ollut havaittavissa, kuten ei muitakaan poikkeuksellisia hajuja. Ongelmakohtia ei ollut ainakaan näkyvillä.

4.3 Rossiosuuden alapohjan kuivatusilmastointi

1. kerroksesta alle puolet on maanvaraisella laattalla ja siinä on musiikki- ja sosiaalitilat sekä terveydenhoitajan ja lääkärin tilat. Maanvaraisen laatan alla on erilliset Radonin poistokanavat. Yli puolet taas on rossipohjalla niin, että siellä mahtuu ainakin hieman kyyryssä kävelemään, eikä siinä olevia tiloja ole tehty käytettäväksi ja siellä on maapohja. Tähän tilaan on tehty koneellisen ilmastoinnin määrittäminen täyttävä kuivatusilmastointi, joka toimii samalla Radonin poistona. Rossitilasta poistetulla ilmalla lämmitetään sinne tuotavaa ilmaa, jota myös kuivatetaan. Tämä systeemi tuntui edelleen toimivan, mutta raitisilman ottoputki ja jäteilman poistoputki ovat edelleen oppilaiden kulkuväylän sivussa heidän noin vyötärönsä korkeudella, vaikka noita olisi mahdollista nostaa ylemmäs. Tämä tarkoittaa ilkvallan mahdollisuutta ja haastattelujen perusteella tuota on tapahtunutkin, eli roskia on tungettu putkiin.

4.4 Ilmastointi, paine-erot ja muut kuin lämpöolosuhteet

Käytävillä oli melkoinen alipaine ulkoilmaan nähden, vaikka ei tuo vielä ihmisiä häiritse. Ns. päiväaikaan alipaine ulkoilmaan nähden on noin -15 Pa ja ns. yöaikaan noin -11 Pa. Ihan näin suuret paine-erot eivät selvästi ole suunniteltuja, vaan IV-mittauspöytäkirjoja tulkittaessa näkee niiden todennäköisesti johtuvat tuloilman säädön ongelmista (herää epäily, että tuloilman kanavapaine on turhan alhainen). Päätekohtainen tuloilmavirtaus oli yleensä säädetty suunniteltua ilmavirtausta pienemmäksi, mutta saatu tilakohtaisesti vielä sallitun 10 % poikkeaman sisälle. Oli kuitenkin jokin tila juuri toisinkin päin, jolloin siihen tuli enemmän tuloa kuin poistoa. Toisaalta käytävien suuren alipaineen ansiosta tilat eivät muodostuneet ulkoilmaan nähden ylipaineisiksi, vaikka joissakin tiloissa oli ilmavirtauksien mukaan ylipaine, eli tuloa enemmän kuin poistoa. Käytävän alipaine riitti

repimään ilmaa sinnepäin sisäseinien läpi paljon helpommin kuin olisi poistunut tiloista ulkoseinien kautta. Useissa tiloissa oli turhan suuri alipaine ulkoilmaan nähden.

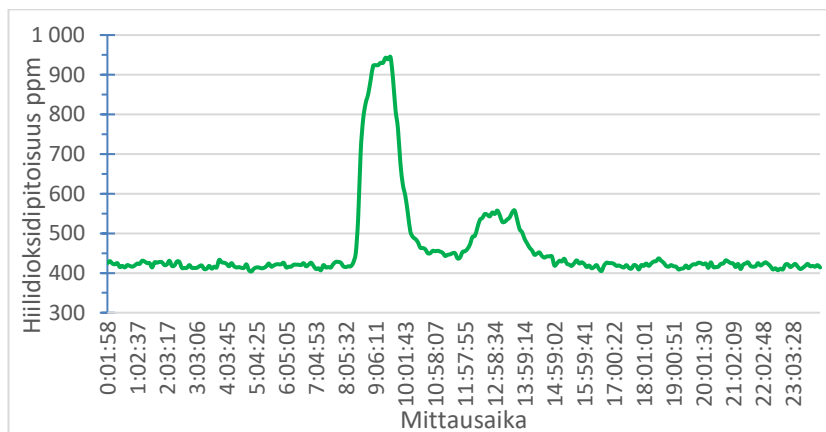
Vain muutamasta tilasta otettiin äänitasot. Tuon mittarin käytännön tarkkuutta ei ollut mahdollista tarkistaa kalibroidun vertailukohdan puuttumisen takia ja tuon minimimittaus oli 35 dB. Tuon takia tuo voi näyttää hivenen liikaakin, kuten korvakuulolta tuntui.

TAULUKKO 9. Tilojen aiemmin mitatut ilmavirtaukset ja paine-ero ulkoilmaan nähden

Tila	Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero ulkoilmaan päiväaikaan Pa	Paine-ero ulkoilmaan yöaikaan Pa
203	316	-325	-18	-11
237	285	-286	-19	-11
240	297	-296	-15	-10
302	207	-227	-16	-10
304	273	-275	-20	-12
320	217	-209	-15	-10
322	242	-241	-12	-5
338	207	-206	-13	-8

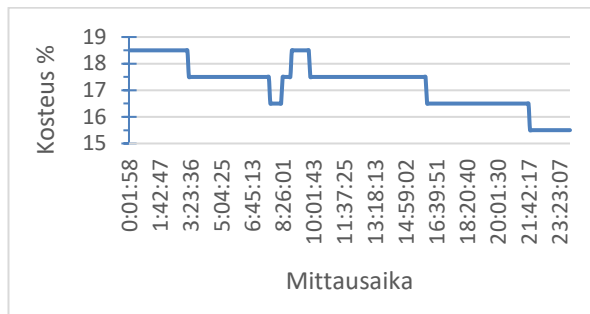
4.4.1 Tilan 203 ilman laatu

Ylempänä olevasta taulukko 9 näkee tilan 203 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo -18 Pa päiväajan paine-ero ulkoilmaan nähden on jo aika paljon nykyrakennuksiin, mutta ehkä vielä siedettävä. Tämä on melkein pahimpia tiloja.



KUVIO 11. Tilan 203 hiilidioksidipitoisuus

Tilan 203 hiilidioksidipitoisuuden näkee ylempänä olevasta kuvio 11. Tämä on juuri ja juuri siinä, että menisi vielä jopa tulevan S2:n määrittelyn sisälle.



KUVIO 12. Tilan 203 kosteuspitoisuus

Tilan 203 kosteuspitoisuuden näkee ylempänä olevasta kuvio 12. Tuo on pienempi kuin minimisuositus, mutta käytännössä vielä ehkä jotenkin toimiva. Suositusminimikosteuspitoisuus on 20...25 %.

4.4.2 Tilan 237 ilman laatu

Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 237 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -19 Pa paine-ero ulkoilmaan nähden on jo aika paljon nykyrakennuksiin, mutta ehkä vielä siedettävä. Tämä on melkein pahimpia tiloja.

Tilan 237 hiilidioksidipitoisuuden näkee liite 2. Tämä maksimi noin 1015 ppm menee hieman yli tulevan S2:n määrittelyn, mutta S3:n alle ja on vielä kelvollinen pitoisuus.

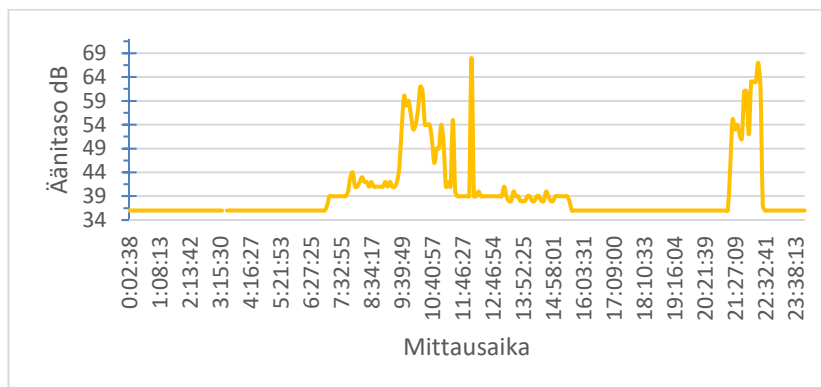
Tilan 237 kosteuspitoisuuden näkee liite 2. Tuo jopa hieman ylittää minimisuosituksen.

4.4.3 Tilan 240 ilman laatu

Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 240 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -15 Pa paine-ero ulkoilmaan nähden on jo melko paljon nykyrakennuksiin, mutta vielä siedettävä.

Tilan 240 hiilidioksidipitoisuuden näkee liite 3. Tämä menee reilusti tulevan S2:n määrittymisen sisälle ja jopa juuri S1:n alle ja on varsin kelvollinen pitoisuusarvo.

Tilan 240 kosteuspitoisuuden näkee liite 3. Tuo jopa hieman ylittää minimisuosituksen.



KUVIO 13. Tilan 240 äänitaso (mittarin minimi oli noin 35 dB)

Tilan 240 äänitason näkee ylempänä olevasta kuvio 13:sta, josta näkee hyvin milloin päivä-ajan säädöt tai yöajan säädöt menevät päälle. Mittarin tarkkuus oli kuitenkin vain suuntaa antava. Tuon mukaan kuitenkin päiväaikainen ei ihmisistä aiheutuva taustamelu oli jonkin verran liian suuri. Mutta opettaja ei kuitenkaan pidä niin suurta meteliä, että oppilaiden kuulo olisi vaarassa heikentyä.

4.4.4 Tilan 302 ilman laatu

Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 302 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmamäärä ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -16 Pa paineero on jo aika paljon nykyrakennuksiin, mutta ehkä vielä siedettävä.

Tilan 302 hiilidioksidipitoisuuden näkee liite 4. Tämä menee reilusti tulevan S2:n määrittymisen sisälle ja on varsin käypä pitoisuusarvo.

Tilan 302 kosteuspitoisuuden näkee liite 4. Tuo on pienempi kuin minimisuositus, mutta käytännössä vielä jotenkin toimiva. Suositusminimikosteuspitoisuus on 20...25 %.

Tilan 302 äänitason näkee liite 4. Tuosta näkee hyvin milloin päivä-ajan säädöt tai yöajan säädöt menevät päälle. Mittarin tarkkuus oli kuitenkin vain suuntaa antava. Tuon mukaan kuitenkin päiväaikainen taustamelu oli liian suuri. Mutta opettaja ei kuitenkaan pidä niin suurta meteliä, että oppilaiden kuulo olisi vaarassa heikentyä.

4.4.5 Tilan 303 ilman laatu

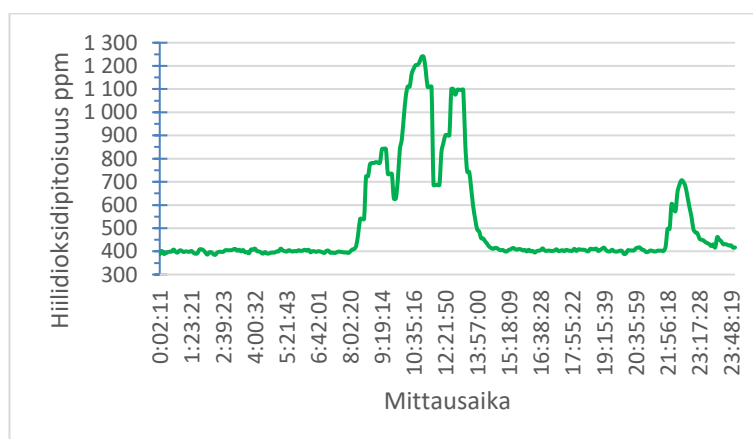
Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 304 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -20 Pa paine-ero on jo aika paljon nykyrakennuksiin, mutta ehkä vielä juuri siedettävä. Tämä on pahimpia tiloja.

Tilan 304 hiilidioksidipitoisuuden näkee liite 5. Tämä maksimi noin 915 ppm menee vielä jopa juuri tulevan S2:n määrityksen sisälle.

Tilan 304 kosteuspitoisuuden näkee liite 5. Tuo on pienempi kuin minimisuositus, mutta käytännössä vielä ehkä jotenkin toimiva. Suositusminimikosteuspitoisuus on 20...25 %.

4.4.6 Tilan 320 ilman laatu

Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 320 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -15 Pa paine-ero on jo melko paljon nykyrakennuksiin, mutta vielä siedettävä.



KUVIO 14. Tilan 320 hiilidioksidipitoisuus

Tilan 320 hiilidioksidipitoisuuden näkee ylempänä olevasta kuvio 14. Tämä maksimisaan noin 1240 ppm menee hieman yli tulevan S3:n määrittelyn, mutta vain hetkellisesti, eikä lähellekään toimenpiderajaa. Mutta tällä on jo selvä oppimista heikentävä vaikutus. Tämän käyttö on erikoinen, sillä muissa luokissa on ollut pitkä ruokatunti ja täällä vain lyhyt tai joku muu on ollut perinteisen ruokatunnin ajan.

Tilan 320 kosteuspitoisuuden näkee liite 6. Tuo hieman jopa ylittää minimisuosituksen.

4.4.7 Tilan 322 ilman laatu

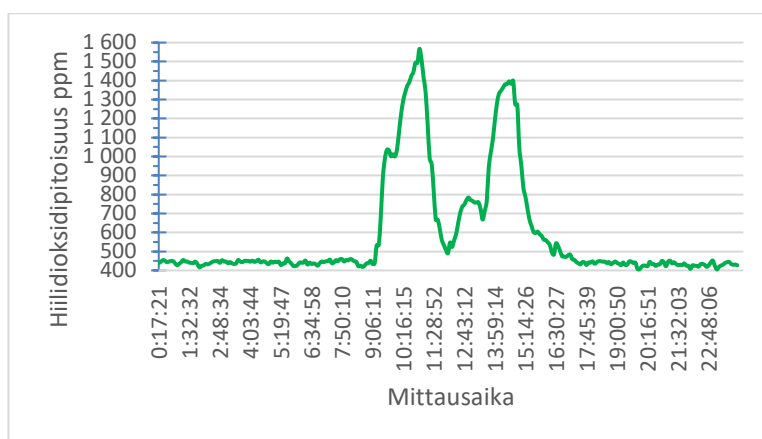
Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 322 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -12 Pa paineero on vielä siedettävä.

Tilan 322 hiilidioksidipitoisuuden näkee liite 7. Tämä noin 945 ppm on juuri ja juuri siinä, että menisi vielä jopa tulevan S2:n määrittelyn sisälle.

Tilan 322 kosteuspitoisuuden näkee liite 7. Tuo jopa hieman ylittää minimisuosituksen.

4.4.8 Tilan 338 ilman laatu

Ylempänä olevasta taulukko 8 näkee tilan 338 paine-erot ulkoilmaan nähden ja viimeisen mittauspöytäkirjan ilmavirtauksen sekä taulukko 7 näkee tilan pinta-alan mukaan suunniteltu ilmavirtaus ja pulpettimäärän mukainen ilmavirtaus. Tuo päiväajan -13 Pa paineero on vielä siedettävä.



KUVIO 15. Tilan 338 hiilidioksidipitoisuus

Tilan 338 hiilidioksidipitoisuuden näkee ylempänä olevasta kuvio 15. Tämä maksimissaan noin 1570 ppm menee selvästi yli tulevan S3:n määrittelyn ja jopa jonkin verran yli toimenpiderajan (1500 ppm). Tämä tila tiedettiin jo etukäteen ongelmalliseksi. Tuon syy on tässä luokassa olevat oppilasmäärän perusteella ylisuuret luokat suunniteltuun nähden ja osasyynä myöskin se, että kerralla opiskellaan katkoitta noin 1,5 h. Tosin tuohon tilaan käytetyllä ilmapuhalluksella voisi saada aikaan hieman paremmankin ilmanlaadun, vaikka tuon ilmapuhallukset ovat nyt suunnitteluarvoihin nähden hieman alisäädetty. Tuolla ei kuitenkaan näyttänyt olevan mitään erikoisia ongelmakohtia ihmismäärää lukuunottamatta. Ilmeisesti ongelmana on luokan pienehkö koko ja siinä tiheä oppilasmäärä. Jo tuo sotkee ilmanvaihdon toimivuutta, kun tiheät ihmismäärät luovat isoja ylöspäin suuntautuvia lämpökuormia ja näin heikentävät raittiin ilman sekoittumista hengitysilmaan. Tuota voi parantaa jo pienikin ilmamäärän nosto, jolloin tuloilman nopeudet nousun myötä ilma liikkuisi pidemmän matkaa ja näin saavuttavat oppilaat paremmin. Tällä on jo selvä oppimista heikentävä ja vaikeuttava vaikutus.

Tilan 338 kosteuspitoisuuden näkee liite 8. Tuo jopa jonkin aikaa käy minimisuositusarvoissa, mutta on kuitenkin suurimman ajan alle minimiarvojen. Tuo on käytännössä vielä jotenkin toimiva. Suositusminimikosteuspitoisuus on 20...25 %.

4.4.9 Tilan 321 paine-ero

Tilan 321 päiväajan alipaine ulkoilmaan nähden on -30 Pa ja tuon voi jo arvioida ilmapuhallusmittauksistakin, koska poistoja on suunniteltu enemmän ja tuloja jopa yli 10 % suunniteltua vähemmän. Tuo on jo liikaa.

4.4.10 Vähiten alipaineisin tila

Ulkoseinällisistä opiskelutiloista vähiten alipainetta ulkoilmaan nähden IV-kone TK06 vaikutusalueella on tilassa 323, jossa sitä on päiväsaikaan -9 Pa ja IV-kone TK05 vaikutusalueella on tilassa 338, jossa sitä on päiväsaikaan -13 Pa. Opettajien tilojen IV-koneen vaikutusalueella tuo tilanne on tilassa 268. Näistä tiloista kannattaakin mahdollisten IV-koneiden säätöjen jälkeen tarkistaa, etteivät tilat ole muuttuneet ulkoilmaan nähden ylipaineisiksi

4.5 LVI-automatiikka

LVI-automatiikka oli toimiva ja siitä näki esimerkiksi IV-koneiden ja päärunkokanavien paineet. Sillä voitiin IV-koneiden ja lisäksi hallita myös erilliskohdepoistoja. Tämä ei kaipaakaan päivitystä, sillä halutut toimenpiteen voidaan suorittaa tähän tehdyillä asetusmuutoksilla.

4.6 Muuta

Kattoon on rakennettu keskusaukion kohdalle korotus, johon on saatu ikkunat vaakaan ja näin luonnonvaloa sisään. Opiskelutilojen sekä niiden käytävien ilmastoinnin IV-konehuoneet on rakennettu toinen tuon toiseen ja toinen vastakkaiseen pätyyn, ja nuo ovat melko matalia kattoon nähden. Tuosta seuraa se, että kunnon tuulisella lumisateilla säällä tuuli kuljettaa lunta nostaen sitä katolta ja näin saaden lumen kulkeutumaan varsinkin toisen IV-koneen raitisilman tuloritilöiden kautta IV-koneille. Tätä oli yritetty korjata niin, että seinässä ollut vanha raitisilmaritilä oli tuotu suorakaidekanavalla hieman ulos seinästä ja tuohon kanavanpätkään oli lisätty pienempi tuloilmaritilä, joka on ideana hyvä. Tässä näkyi kuitenkin se, että tuossa ei ole ilmeisesti ollut suunnittelija mukana, sillä tuo uusi tuloilmaritilä on lisätty juuri siihen suuntaan mistä tuuli pääsee kattoa ja korotuksen seinää pitkin puhaltamaan lunta suoraan uuden tuloilmaritilän kautta IV-koneelle. Tämän kosteusongelman ehkäisemiseksi IV-koneita laitetaan tietyillä lumisateisilla tai lunta tuiskuttavilla ilmoilla päivisin yöasetuksille eli pienemmälle.

5 TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

5.1 Lämpötilamuutokset

Sopiva lämpötila on aina henkilökohtainen asia, eikä lämpötilan muutoksia kannata tehdä ensin kuulematta paikallisen tilan käyttäjiä. Joidenkin tilojen lämpötilaa onkin jo voitu laskea tai nostaa käyttäjien pyynnöstä, eikä niille ole käytännössä tarve tehdä mitään.

5.1.1 Tilan 320 lämpötilamuutos

Liite 6. näkee tilan 320 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Tämän tilan ongelmana on liian matala käyttöajan aamulämpötila, joka raportointivuorokautena oli minimissään 19,4 °C, mutta pidempiaikainen seuranta paljasti tuon olevan välillä hieman enemmänkin. Tuo olisi syytä nostaa vähintään 20 °C ja optimi olisi, että tämän tilan käytönaikainen minimilämpötila nostettaisiin 20,5 °C. Suositus on, että tämän tilan lämpötilaa nostetaan noin +0,8 °C, jos tilan käyttäjät eivät vastusta.

5.1.2 Tilan 320 lämpötilamuutos

Liite 8. näkee tilan 338 vuorokautisen lämpötilavaihtelun. Tässä tilassa ei oikeastaan ole lämpötilojen kanssa ongelmaa. Mutta jos tämän tilan muiden ongelmien ratkaisemiseksi tehdään suositellut toimenpiteet, saattaa tilan sisälämpötila sen seurauksena laskea. Tuon takia lämpötila olisi joko IV-säätömuutosten jälkeen hyvä tarkistaa tai sitten jo valmiiksi hieman nostaa käytönaikaista sisälämpötilaa (esim. 0,4 °C). Optimi olisi, että tämän tilan käytönaikainen minimilämpötila olisi 20,5 °C. Suositus on, että ennen oppilaiden saapumista tämän tilan aamulämpötila tarkistettaisiin 20...20,5 °C, kun kaikki IV-muutokset on tehty.

5.2 Ilmavirtauksien tehostusmuutokset

Suosituksena on pienentää paine-eroa niin, että IV-koneiden TK06 ja TK05 päiväajan asetuksiin lisätään tuloilmakanavan painetta noin 6...8 Pa ja yöajan asetuksiin joko lisätään tuloilmakanavan painetta tai vähennetään poistoilmakanavan painetta noin 2...3 Pa. Pelkästään tuo päiväajan tehostusmuutos saisi jo jotkin rajamailla olevat huonekohtaiset hiilidioksidipitoisuudet alenemaan välttävästi ja kunnossa olevia vain parantaen. Noita voisi muuttaa jopa hieman enemmänkin, mutta sen jälkeen pitäisi noiden vaikutuksen alaisien tilojen IV-säädöt varmistaa ja ainakin joitakin paine-ero-mittauksia suorittaa, sillä ei haluta ulkoilmaan nähden ylipaineisia tiloja. Voidaan suorittaa myös koko rakennuksen ilmastoinnin uudelleen säätäminen, jolloin paine-erot saataisiin nykyisten suositusten mukaiseksi, mutta tämä vaatii ilmamäärien uudelleen optimointi-suunnittelun. Jo nyt noiden suositusten mukaisten säätöjen jälkeen on suositeltavaa tarkistaa, että tilat 323 tai 338 eivät ole tulleet ylipaineisiksi ulkoilmaan nähden. Tämän voi suorittaa vaikka niin, että ensin mittaa käytävän ja ulkoilman välisen paine-eron, sitten käytävän ja tilan välisen paine-eron, ja noista saa yhteenlaskettua riittävällä tarkkuudella paine-ero ulkoilmaan nähden – mittaushetkellä saa käydä korkeintaan pieni tuulenvire. Suositellut toimenpiteet parantavat hieman ilmanvaihtoa ja pienentävät kokonaislämmitystarvetta, mutta ilmanvaihtokoneen tuloilman puhaltimen teho hieman nousee, sillä lämmityskauden lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämmitystarve tulee hieman kasvamaan, mutta lämmityspattereiden lämmitystarve pienenee enemmän. Nämä olisi hyvä tehdä ainakin ennen muita ilmastointiin liittyviä toimenpiteitä, jolloin nämä muutokset helpottaisivat tulevia toimenpiteitä ja kokonaistyömäärä saataisiin näin optimoitua.

Tilassa olevien henkilöiden muodostama hiilidioksidikuormitus laskettiin 1. yhtälöllä ja minimi-ilmavirtauksen halutun hiilidioksidipitoisuuden ylittämisen estämiseksi laskettiin 2. yhtälöllä sekä hiilidioksidin pitoisuuskäyrä ajan ja tilan koon mukaan yhtälöllä 3. Nämä laskettiin Excel-laskentataulukossa ja muodostettiin tarpeelliset kuviot sekä taulukot, jotka tulevaisuudessa esitetään. Nuo on kuitenkin laskettu sekoittavan ilmanvaihdon optimaalisella hyötysuhteella, joka ei käytännössä toteudu. Siksi tulokset täytyy kertoa jollain kertoimella (esimerkiksi 1,2), joka huomioi valitun tuloilmasysteemin käytännön eron optimaaliseen. Käytännössä isoin luokkakoko on noin 33 oppilasta, vaikka joissakin luokissa onkin enemmän pulpetteja (taulukko 7). Opettajia on luokkaa kohden vain yksi, eikä avustajia normaalisti käytetä.

TAULUKKO 10. Suositellut toimenpiteet työjärjestyksessä

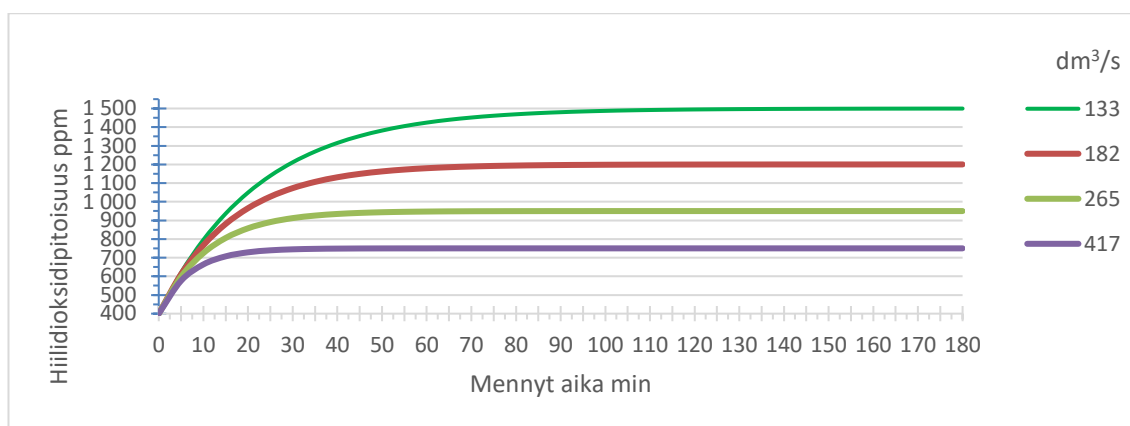
Toimenpide **	Tila tmv	Muutos tmv	Huom.
IV-koneiden TK05 ja TK06 tuloilman kanavapaineen lisääminen päiväaikaan	Muutos automatiikasta	+6...8 Pa	Lisäys nykyiseen
IV-koneiden TK05 ja TK06 tuloilman kanavapaineen lisääminen yöaikaan	Muutos automatiikasta	+2...2 Pa tai -2...3 Pa	Lisäys nykyiseen
Tilan paine-eron tarkistuttaminen ulkoilmaan nähden *	Tila 323	Ei saa olla ylipainetta	Ylipainetta => tilojen säätö
Ilmavirtauksien uudelleensäätö	Tila 320	-240 dm ³ /s +240 dm ³ /s	Ääni ratkaisee
Ilmavirtauksien uudelleensäätö	Tila 338	-240 dm ³ /s +240 dm ³ /s	Enemmänkin, ääni ratkaisee
Ilmavirtauksien uudelleensäätö (paine-erosuositus ulkoilmaan nähden -5 Pa)	Tila 321	-280 dm ³ /s +280 dm ³ /s	Ilmavirtaukset lähelle toisiaan
Lämpötilan säätö	Tila 320	+0,8 °C	Lisäys nykyiseen
Lämpötilan säätö	Tila 338	+0,4 °C	Lisäys nykyiseen

* Voidaan suorittaa niin, että ensin mitataan käytävän ja ulkoilman välinen paine-ero, sitten käytävän ja tilan välinen paine-ero, ja noista yhteenlaskemalla saa tilan paine-eron ulkoilmaan nähden tai sitten suoraan tilasta ulkoilmaan (tämä vaatii mittausletkun kokooisen reiän vaikka karmiin). Mittaushetkellä saa käydä korkeintaan pieni tuulenvire.

** 5.3 kohdan ehdotusta ei ole tähän laitettu.

5.2.1 Tilan 320 IV-säädöt

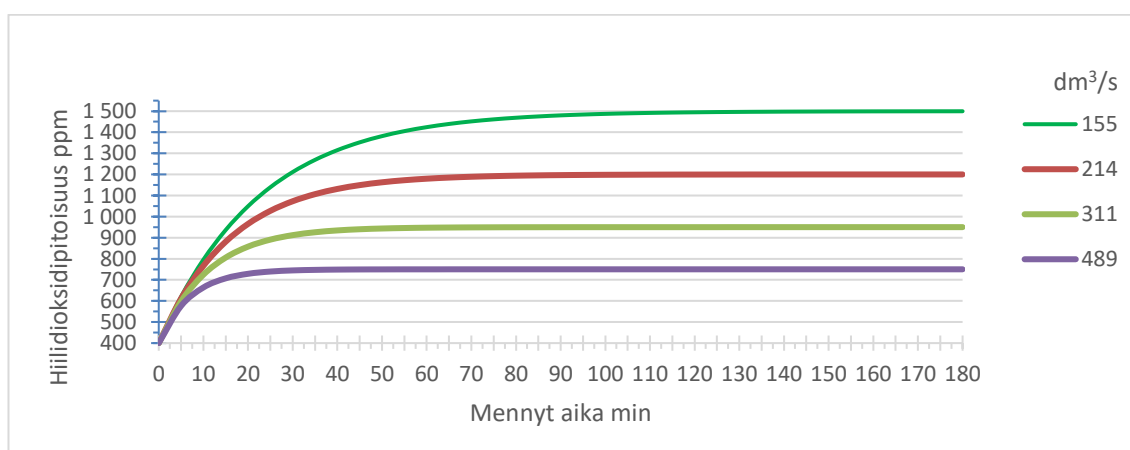
Tilan 320 ongelmana on hieman korkeahko hiilidioksidipitoisuus. Tuon hiilidioksidipitoisuuden löytyvät liite 6. Suositus on, että tämän ilmavirtaukset nostetaan siitä aiheutuvan äänitason nousun perusteella, jolloin teoriassa ilmavirtaukset voisivat olla noin 250 dm³/s, mutta noin 264...270 dm³/s on laskennallinen optimaalinen määrä. Virtauksien vaikutus optimaalisella sekoituksella näkyy alempana olevasta kuvio 16.



KUVIO 16. Tilan 320 CO₂-pitoisuus ajan ja tilavuuden mukaan (28 oppilasta & opettaja)

5.2.2 Tilan 338 IV-säädöt

Tilan 338 ongelma on hiilidioksidipitoisuus (1570 ppm), joka menee jo yli 1500 ppm toimenpiderajan. Toimenpide-ehdotukseni on, että tämän ilmavirtaukset nostetaan siitä aiheutuvan äänitason nousun perusteella, jolloin teoriassa ilmavirtaukset voisivat olla noin 250 dm³/s, joka jo vienee alle toimenpiderajan. Nykytilanteen toimivuuden perusteella laskettaessa S3:n vaatimuksien pääsyyn vaadittaisiin ainakin 270...288 dm³/s, joka on käytännössä oppilasmäärän mukaan laskettuna jo S2:n ilmavirtaus. Optimi nykytilanteen toimivuuden perusteella laskettaessa olisi noin 480 dm³/s, joka on jo melko paljon. Tuo vaatisi jo putkisto ja päätelaitemuutoksia tai lisäyksiä. Mutta tämä ei todennäköisesti vaadi ihan nykytilanteen perusteella laskemiani ilmamääriä, sillä ilmavirtauksen noston myötä nousee myös tuloilman puhallusulostulonopeus, joka saa myös osaltaan ilmastoinnin toimimaan paremmalla hyötysuhteella. Virtausmäärien vaikutus optimaalisella sekoituksella näkyy alempana olevasta kuvio 17.



KUVIO 17. Tilan 338 CO₂-pitoisuus ajan ja tilavuuden mukaan (33 oppilasta & opettaja)

5.2.3 Tilan 321 IV-säädöt

Tilan 321 ongelma on päiväajan paine-ero ulkoilmaan nähden, joka on peräti -30 Pa. Tuossa tilassa on poistoa hieman suunniteltua enemmän ja tuloa peräti säätöepätarkkuus-
rajan yli, eli enemmän kuin 10 % suunniteltua vähemmän, joka on jo liikaa. Toimenpide-
ehdotukseni on, että tämän tilan ilmavirtaukset tulisi säätää uudelleen niin että tuloilma-
virtaus olisi nykyistä lähempänä suunniteltua ja alipaine ulkoilmaan nähden maksimissa
15 Pa ja mieluummin lähempänä 5 Pa.

5.3 Muuta

Ongelmana on, että toiseen opiskelutilojen IV-koneeseen menee tietyillä tuulisina lumi-
sadepäivinä melko paljon lunta. Tätä oli yritetty korjata niin, että seinässä ollut vanha
raitisilmaritilä oli tuotu suorakaidekanavalla hieman ulos seinästä ja tuohon kanavanpät-
kään oli lisätty pienempi tuloilmaritilä. Tuo uusi tuloilmaritilä on lisätty kuitenkin juuri
siihen suuntaan mistä tuuli pääsee kattoa ja korotuksen seinää pitkin puhaltamaan lunta
suoraan uuden tuloilmaritilän kautta IV-koneelle. Ehdotus onkin, että jossain vaiheessa
vähintään tuo uusin tuloilmaritilä siirretään suorakaidekanavan vastakkaiselle puolelle.
Parempi olisi, jos tuo suorakaidekanava laajenisi sen verran, että uusin raitisilmaritilä
mahtuisi vanhan raitisilmaritilän jommalle kummalle sivulle tai päälle.

6 POHDINTA

Käytännössä tärkeimmät mittaukset ovat alla olevan taulukon 11 kertomat.

TAULUKKO 11. Käytännössä tärkeimmät mittaukset rakennuksen kannalta

Toimenpide	Syy	Suositus	Huom.
Ulkoseinää vasten olevien tilojen paine-ero ulkoilmaan nähden	Ylipaine => riski rakenteille Suuri Alipaine => riski ilman saastumiselle	-9...-5...0 Pa	Märät tilat jopa -10...-15 Pa
Hiilidioksidipitoisuus	Heikentää oppimista ja työskentelyä	<950 ppm < 1200 ppm	Toimenpide >1500 ppm
Lämpötila	Heikentää oppimista ja työskentelyä	20,5...23 °C 20...25 °C	Kesällä jopa 26..27 °C

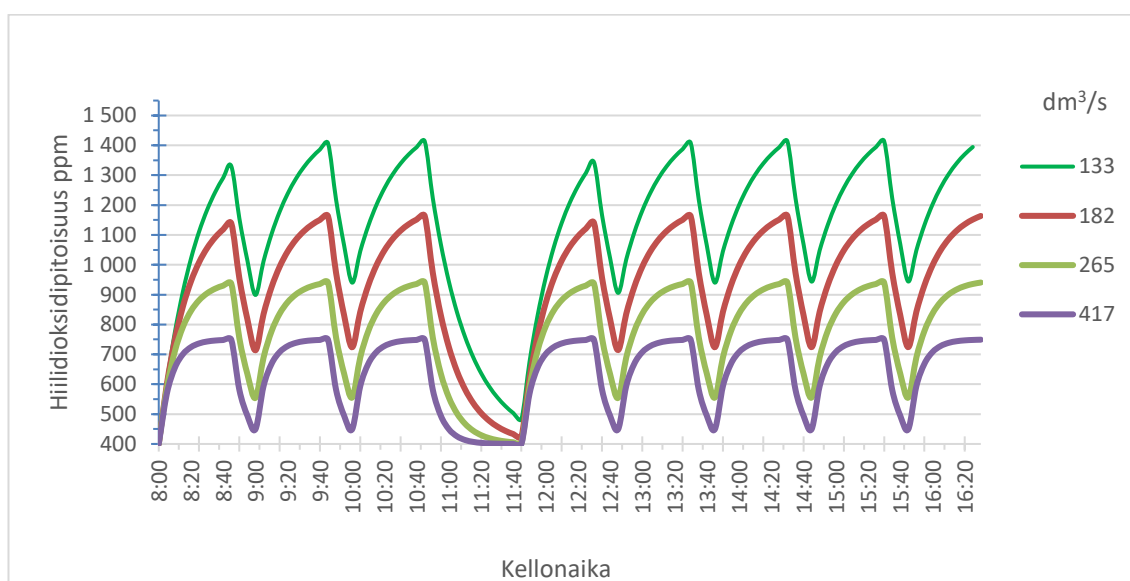
6.1 Mittarit, mittaukset ja rakennuksen rakenne

Tulee huomioida, että ilma ei uudehkoissa rakennuksissa kulje opetustilasta käytävään yhtä pienellä painehäviöllä kuin ennen vanhaan, jolloin oven alla oli rako. Jos ovea ei ole tilattu ilmaraolla, niin sen alapuolella on lattiaa vasten muovilista ja reunakohdissa on tiivisteet. Noilla siitä on yritetty tehdä äänieristävämpi, mutta samalla se on tullut myös ilmatiiviimmäksi. Onneksi näköjään sisäseinän ja oven ilmanvastukset ovat sen verran ulkoseinää pienemmät, että tämän perusteella voidaan todeta, ettei ylipainetta helposti muodostu ulkoilmaan nähden näillä käytävän alipaineilla. Tämän perusteella voidaan myös todeta sekin, että jos käytävän alipaine ulkoilmaan nähden olisi ollut esimerkiksi vain 5 Pa, niin silloin jo joihinkin ulkoseinän omistavien tilojen ja ulkoilman välille olisi muodostunut ylipaine mittausajan noiden tilojen ilmavirtauksilla.

6.2 Heränneet pohdinnat ja ongelmat

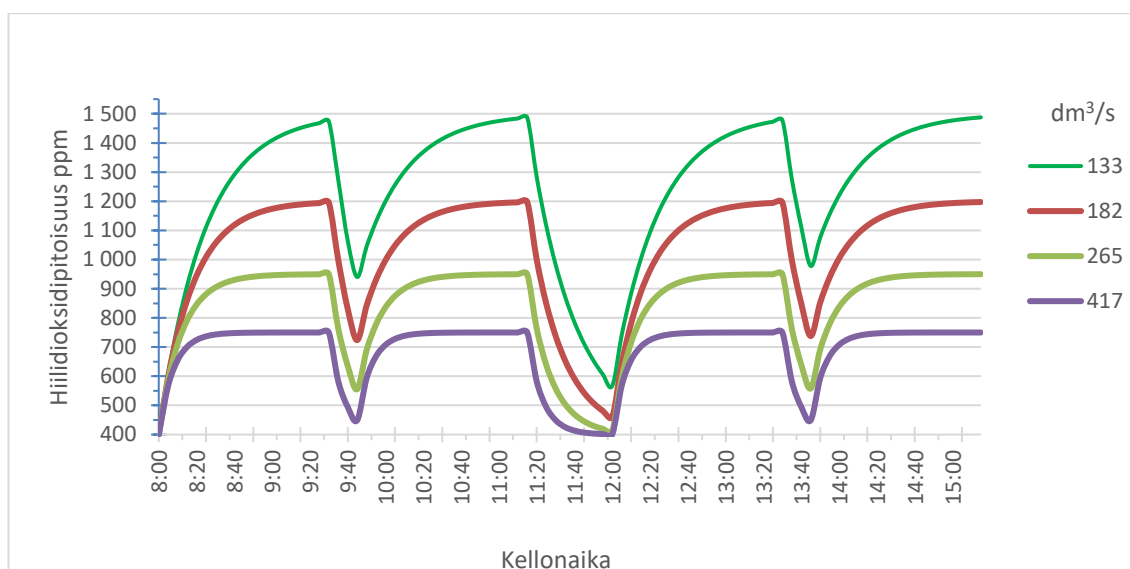
6.2.1 Ilmavirtaukset

Selvästi koulujen ilmavirtaukset on ohjeissa määritetty sen mukaan, että tunnilla ollaan 45 minuuttia ja sen jälkeen on 15 minuutin välitunti, joka vietetään muualla kuin luokassa. Tuona 45 minuutin aikana hiilidioksidipitoisuus ehtii korkeintaan juuri ja juuri nousta maksimiinsa, jos siihenkään ja 15 minuutin aikana laskisi lähemmäs aamun pitoisuutta. Näin keskimääräinen käytön aikainen hiilidioksidipitoisuus olisi lähelle S-luokitusta, eli tilanne pitäisi olla alla olevan kuvio 18 mukainen, jos sekoitussuhde olisi optimaalinen.



KUVIO 18. Tilan 320 CO₂-pitoisuus ajan ja tilavuuden mukaan (28 oppilasta & opettaja) ja 45 minuutin oppitunnein, 15 minuutin välitunnein sekä 1 tunnin ruokatunnilla

Kuitenkin useissa kouluissa ala-asteista alkaen pidetään koko päivän 1,5...1,75 h pituisia tunteja ja niiden välissä on kuitenkin vain 15 minuutin välitunti. Tämä tarkoittaa hiilidioksidipitoisuuden olevan jopa tunnin verran maksimissaan, jolloin keskiarvokin menee yli määritetyn S-arvon ja vain ruokatunnin aikana hiilidioksidipitoisuus kerkeää kunnolla vähenemään. Koska sekoittavan hyötysuhde ei ole lähellekään optimaalinen, niin käytännössä tämä tarkoittaa, että sekoittavalla ilmanvaihdolla ja S3 (D2) ilmamäärillä menee hiilidioksidipitoisuuden pitoisuushuippu ainakin lähelle toimenpiderajaa (1500 ppm) ja vasta S2:n ilmavirtaamat pitävät sen edes S3-määritysten läheisyydessä. Tilanne voisi olla syrjäyttävällä ilmanvaihdolla olla vaikka alla olevan kuvio 19 mukainen, jos sekoitussuhde olisi optimaalinen.



KUVIO 19. Tilan 320 CO₂-pitoisuus ajan ja tilavuuden mukaan (28 oppilasta & opettaja) ja 90 minuutin oppitunnein, 15 minuutin välitunnein sekä 45 minuutin ruokatunnilla

Pitäisikö alkaa käyttämään koulujen ilmamäärille S1:n IV-määrittelyjä jo S2:n kohteissa ja S2:n IV-määrittelyjä jo S3:n kohteissa... vaihtoehtoisesti voitaisiin siirtyä käyttämään ilmanjakohyötysuhteeltaan sekoittavaa parempaa ilmanjakosysteemiä, eli syrjäyttävää tai kerrostavaa ilmanjakosysteemiä.

6.2.2 Paine-erot

Vaikka sisäilman ylipaineen ansiosta seinästä ei pääse tulemaan sisälle mitään likapartikkeleita, niin valitettavasti ainakin nykyohjeiden mukaisesti suunnitellut ulkoseinät pilaantuvat ilman kuljettua vastasuuntaan suunniteltuun nähden ja seinän rakenteiden ainakin tietynlaisilla keleillä kostuessa. Tätä ylipaineen vaikutusta tunnutaan vähäteltävän, vaikka tästä on moni alan asiantuntija varoitellut. Tosin tilojen ylipaineistaminen voi joskus olla ongelmarakennuksissa harkittua silloin kun seinästä tulee sisälle haitallisesti likapartikkeleita, eikä tilojen kunnostamisen katsota olevan uudisrakentamista tai muuttoa kannattavampaa. Ylipaineistettuun tilaan ei seinästä pääse likapartikkeleita ja näin rakennusta voi vielä jopa muutamia vuosia käyttää ennen kuin se menee niin huonoon kuntoon, että se menee käyttökieltoon.

Mutta kysymys herääkin, että mitä tapahtuu nyt uusien suositusten ja säädösten voimaan tullessa ja jos edelleen 'unohdetaan' tilan paine-eron mittausta ulkoilmaan nähden. Tuntuu, että nyt säätöjen tekijät ovat noudattaneet vain tuota 10 % määritettyä säätötarkkuutta

suunniteltuihin arvoihin nähden. Joskus tuloilma on voinut ainakin teoriassa olla säädön jälkeen tuon mukaan minimissään ja poistoilma taas säädön jälkeen tuon mukaan maksimissaan, jolloin tulo ja poistoilmamäärien ero on voinut olla jopa 20 %. Ylipaineesta vuoden 2016 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje sanoo (Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, s.18):

Rakennuksen ylipaineisuus vaikuttaa mm. vuotoilmavirran suuntaan ja huoneilman kosteuden tiivistymisriskiin pinnoilla tai rakenteissa. Jos rakennus on ylipaineinen ulkoilmaan nähden ilmanvaihdon toiminnasta johtuen, tulee ylipaineen syy selvittää ja ilmanvaihtoa tasapainottaa. Hetkellinen ylipaineisuus on mahdollista tuuliolosuhteista tai rakennuksen geometriasta johtuen, eikä vaadi korjaustoimenpiteitä.

Mutta miten hyvin tätä noudatetaan...

Nykyään puhutaan ja pitäisi suunnitella rakennuksia, joiden ilmanpaine pidetään samana kuin ulkoilmankin. Tämän takia voikin muodostua tilanteita, jossa seinää vasten olevat tilat voivat olla säädön salliman tulon tai poiston 10 % tilakohtaisen säätötarkkuuden suunnitteluarvoon nähden jälkeen ulkoilmaan nähden ylipaineiset. Olisi ollut tutkittavassakin kohteessa, jos käytävillä olisi ollut vain suositusten mukainen maksimi 5 Pa alipaine ulkoilmaan nähden. Mitä tulee tapahtumaan, kun säätöjen tekijät alkavat noudattaa tänä vuonna voimaan tullutta 20 % tilakohtaisen säätötarkkuuden suunnitteluarvoon nähden suositusta. Tuosta Ympäristöministeriön Suomen säädöskokoelman asetuksen 1008/2017 (voimassa vuodesta 2018 alkaen) määräys 27 sanoo:

Hyväksyttävät poikkeamat suunnitelluista arvoista voivat olla seuraavia:

- 1) ilmapirta järjestelmä- ja huoneistokohtaisesti ± 10 prosenttia;*
- 2) ilmapirta huonekohtaisesti ± 20 prosenttia, kuitenkin siten, että poikkeama voi aina olla vähintään 1 dm³/s;*

Tuon takia ylipaine voikin kasvaa vielä pahemmaksi ja todennäköisesti viimeistään nyt ongelmaksi, ellei säätöjen tekijöille anneta selviä uusia kriteereitä myös suunnittelun osalta. FINFACin Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoittamiseen sanoo:

Ilmavirtojen perussäätö on edullista tehdä siten, että ensin säädetään asunnon kokonaisilmavirrat suunnitteluarvojen mukaisiksi, ensin tuloilmavirta ja sitten poistoilmavirrat siten, että myös paine-erovaatimukset toteutuvat.

Tämä kyllä ohjeistaa, että säädössä tulisi huomioida myös paine-erovaatimukset. Mutta tämä on ohje voi helposti unohtua säätöfirmoilta. Tämä mielestäni kannattaisi liittää myös LVI-työselostukseen, kuten myös määrittää siihen tilan tulo- ja poistoilmamäärien sallittu maksimiero sekä ilmoittaa että tuloilman virtaus ei saa olla suurempi kuin poistoilman

virtaus, ellei toisin ole suunnitelmiin merkitty. Nuo tulisi laittaa myös loppuluovutuksen yhteydessä asiakkaalle luovutettaviin IV-säätöohjeisiin.

Lisäksi ongelmana on se, että ilmapäätelaitteiden säädöt muuttuvat ajan kuluessa, joka voi myös muuttaa tilan pahimmassa tapauksessa ylipaineiseksi. Lisäksi tuuli saa aikaan sen, että paine-ero voi muuttua melko pienilläkin tuulen voimakkuuseroilla ainakin 2 Pa ja suuremmilla tuulen voimakkuuseroilla enemmänkin, jolloin toisessa päässä rakennusta paine nousee ja toisessa laskee.

Miten sitten estää ylipaine ja pitää ainakin ulkoseinää vasten olevat tilat saman paineisina kuin ulkoilma? Toki voitaisiin asentaa ulkoseinää vasten olevan tilan tuloilmapäätelaitteisiin paine-erosäätöinen säätö, joka säätäisi tuota niin, että yrittäisi pitää tilan paineen samana kuin ulkoilmankin. IMS-systeemeissä on osaltaan hieman vastaava systeemi, jossa painetta säädetään pelleillä tai ilmapäätelaitteiden säädöillä. Näissä on ollut ongelmana toimimattomuus jo kolmenkin vuoden jälkeen ja on kallista uusia osia noin usein, varsinkin kun tämä systeemi on jo alkujaankin kallis. Kouluissa IMS-säätöjen toimimattomuutta ei aina huomaakaan, koska ilmavirtauksien mitoitus varsinkin kouluissa on edelleenkin hieman alimitoitettua verrattuna tavoitteena olevaan hiilidioksidipitoisuuteen ja luokat nykyään niin suuria, että nuo ovat usein koko koulupäivän täysillä auki ja ovat voineet jumittua täysi-asentoon. Noiden takia IMS-systeemien käytön ovat jotkut kunnat ja kaupungit kieltäneet.

Halvempi systeemi olisi laittaa jokaiseen ulkoseinää vasten olevaan tilaan korvausilma-venttiili tai ikkunakarmeihin korvausilmaritilät, josta hallitusti pääsisi merkittävä ylipaine purkautumaan ja merkittävä alipaineikin näin estettäisiin, koska siitä saisi korvausilman. Tämä tosin hieman lisäisi lämmityskuluja ja vedontunteen mahdollisuutta, joka voidaan kuitenkin suunnittelulla estää.

LÄHTEET

Duodecim aikakauskirja (lääketieteellinen julkaisu). Sisäilmaston kemialliset ja fysikaaliset riskitekijät ja niiden tutkiminen. Luettu 2.2.2018. <http://www.duodecim-lehti.fi/lehti/1996/15/duo60296>

Aamuset kaupunkimedia. Koulujen huono sisäilma heikentää oppimistuloksia ja lisää poissaoloja. Luettu 10.2.2018. <http://www.aamuset.fi/teemat/1613723474/Koulu-jen+huono+sisailma+heikentaa+oppimistuloksia+ja+lisaa+poissaoloja>

Sisäilmayhdistys ry. Epäpuhtaudet ja niiden torjunta – Rakennusmateriaalien epäpuhtaudet. Luettu 16.2.2018. <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Epapuh-taudet-ja-niiden-torjunta>

Neste, Air-Ix suunnittelu ja Ekono, 1990. Kustantaja Lämmitys- ja öljytuoteneuvonta, Espoo. Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys.

Sandberg Esa (toim.), 2014. Kustantaja Talotekniikka-Julkaisut Oy. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1.

Seppänen Olli, 1995. Kustantaja Suomen LVI-yhdistysten liitto ry, Espoo. Rakennusten lämmitys.

Helsingin sanomat. Elimistö polttaa rasvaa solujen tarpeeseen – ravinnon ylimääräinen energia jää elimistöön ja muuttuu rasvaksi. Luettu 16.2.2018. <https://www.hs.fi/tiede/art-2000005266464.html>

Hengityслиitto. Sisäilman kosteus ja lämpötila. Luettu 16.2.2018. <https://www.hengitys-liitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila>

Terveyskirjasto (Duodecim). Maksimaalinen hapenottoakyky kestävyyskunnan mittarina. Luettu 17.2.2018. https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk01038

MikroBitti-lehti, 2/2018. Artikkel: Unensäästäjä suodattaa sinistä – asiantuntijoiden kommentit.

Terveyskirjasto (Duodecim). Kaamosmasennus ja kaamosväsymys. Luettu 16.2.2018. <http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo95458.pdf>

Terveyskirjasto (Duodecim). Alilämpö. Luettu 2.2.2018. http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00263

Työterveyslaitos. Tavoitetasoperustelumuistio - Lämpöolot. Luettu 2.2.2018. <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/lampoolot-tavoitetasot.pdf>

Henna Maula (Aalto-yliopisto). Effects of Indoor Climate on Occupants' Perception and Work Performance in Office Environment. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/29534/isbn9789526077666.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Optiplan, 2017. Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella.

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje.

Suomen säädöskokoelma, Ympäristöministeriö, asetus 1009/2017 (astui voimaan vuoden 2018 alusta alkaen).

FINVAC ry, SuLVI ry, VVS Föreningen i Finland rf, Sisäilmayhdistys ry ja Lämpöinsinööriyhdistys ry, 30.11.2017. Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa.

FINVAC, 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet, loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista.

Valvira – Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Melu. Luettu 21.2.2018. <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/melu>

ANSI/ASHRAE 55-2013 Standard, 2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Sisäilmayhdistys. Luonnos: Sisäilmastoluokitus 2018. Kommentointiversio 2017 (vielä tuota ei siis ole virallisesti julkaistu, sillä sisällön laajenemisen takia julkaisu on siirtynyt tämän tiedon mukaan toukokuulle, mutta tässä kerrottuja tietoja on tarkistettu myös tänä vuonna julkaistusta osakokonaisuuksista).

Sosiaali- ja terveysministeriö, 2016. HTP-arvot 2016 - Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet.

Työterveyslaitoksen OVA-ohjeet. Hiilidioksidi - tiivistelmä. Luettu 17.2.2018. <http://www.ttl.fi/ova/thiilidioksidi.html>

Tampereen kaupungin Tilakeskus, 2015. Rakennussuunnitteluohje.

Hoitava Hengitys. Hiilidioksidin tehtävä elimistössä ja hyperventilaatio. Luettu 17.2.2018. <http://www.hoitavahengitys.fi/hyperventilaatio/>

Ympäristö ja Terveys-lehti, 2009. Asumisterveysopas (3. painos). *Tämä perustuu 2016 kumottuun Sosiaali ja terveysministeriön oppaaseen 2003:I*

Timo Vikman, 2007. Sukellus (laitesukeltamisen tieto).

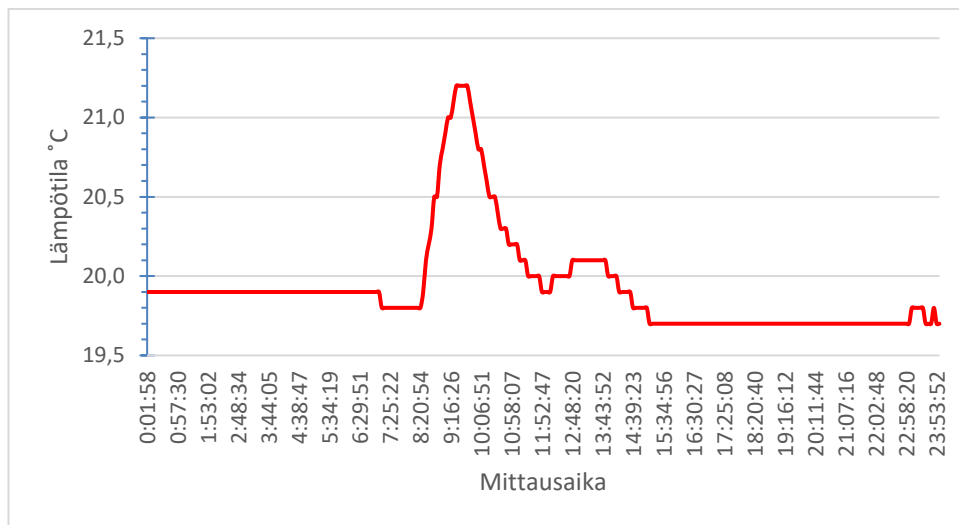
Teuvo Aro ja (Antti Mäkinen), AX-Suunnittelu - Tampereen liikelaitos Tilakeskus, 2014. Rakennuksen (talotekniikan) toimivuustarkastelu – versio 30.6.2014.

KV Group Oy, 27.10.2017. Ilmavirtojen mittauspöytäkirja - Kangasalan lukion TK06:n päätelaitteiden ilmavirroista.

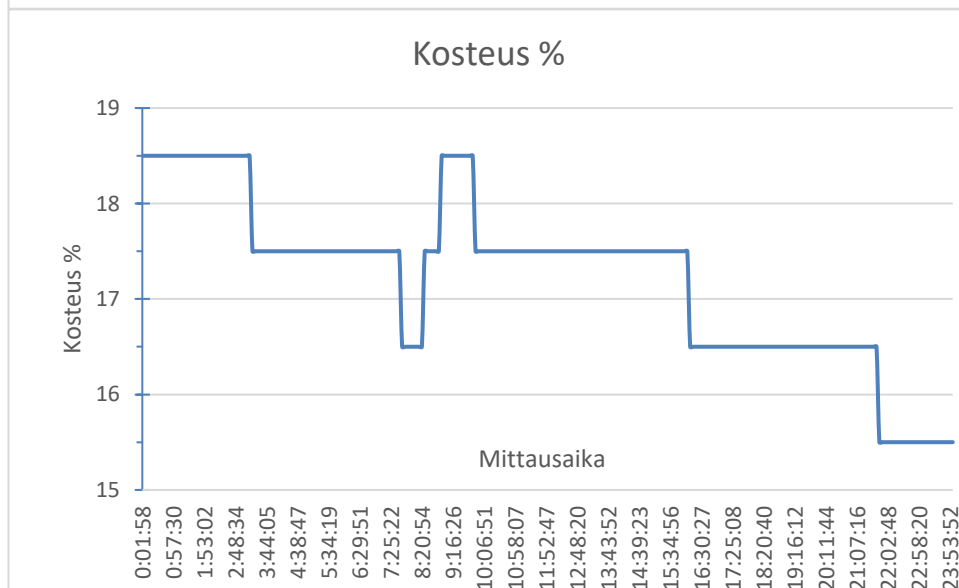
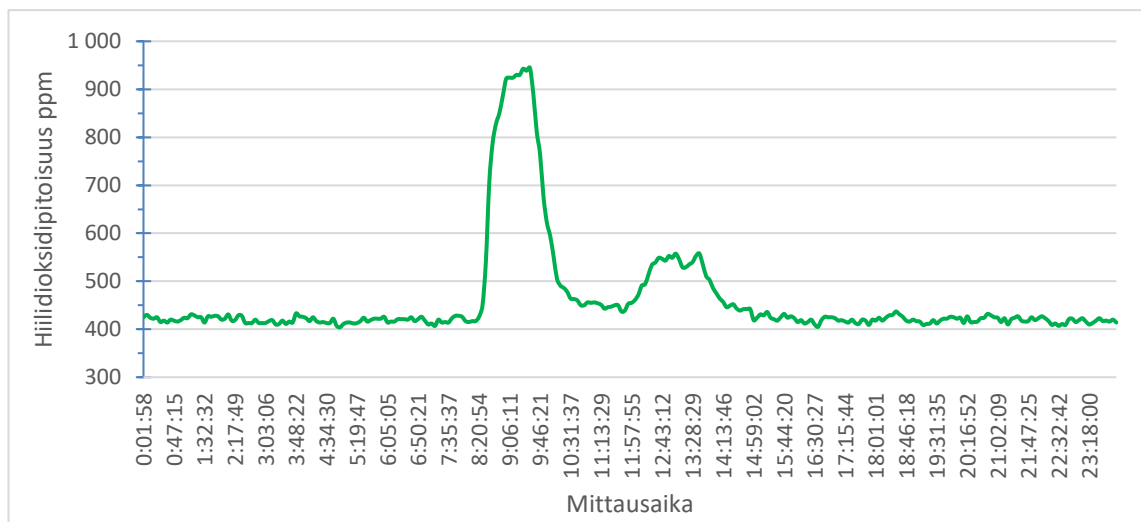
KV Group Oy, 20.10.2016. Ilmavirtojen mittauspöytäkirja - Kangasalan lukion TK05:n päätelaitteiden ilmavirroista.

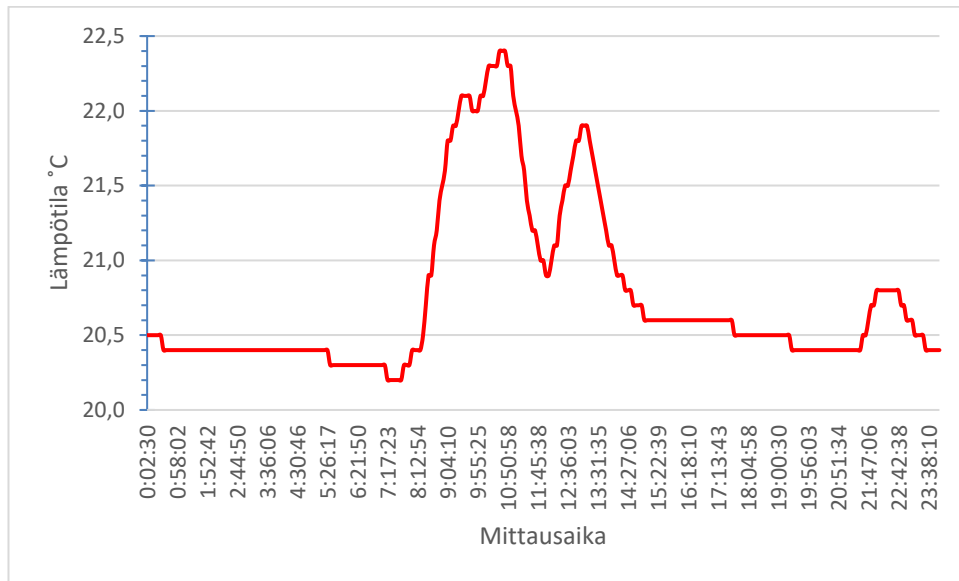
LIITTEET

Liite 1. Luokka 203

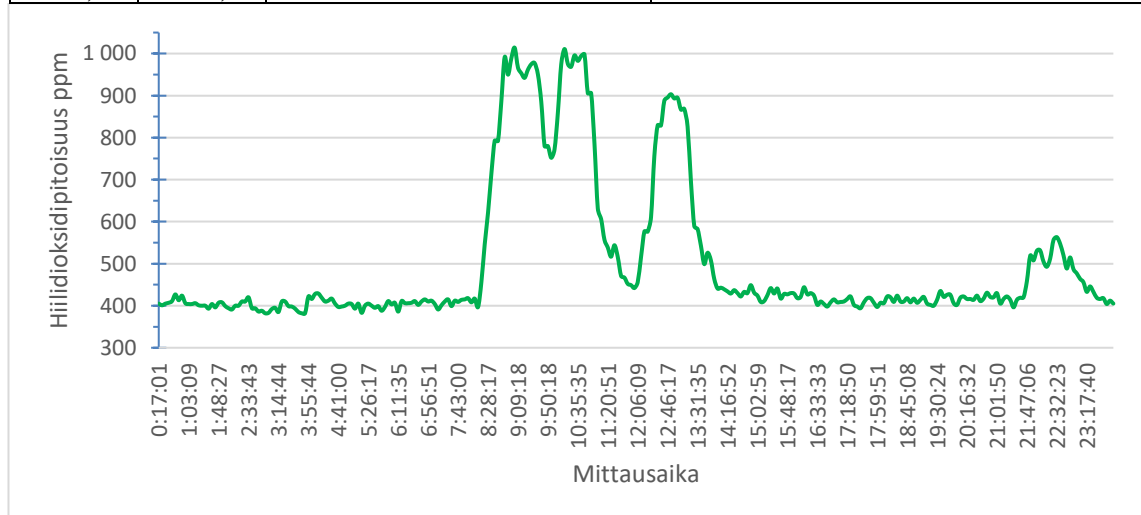


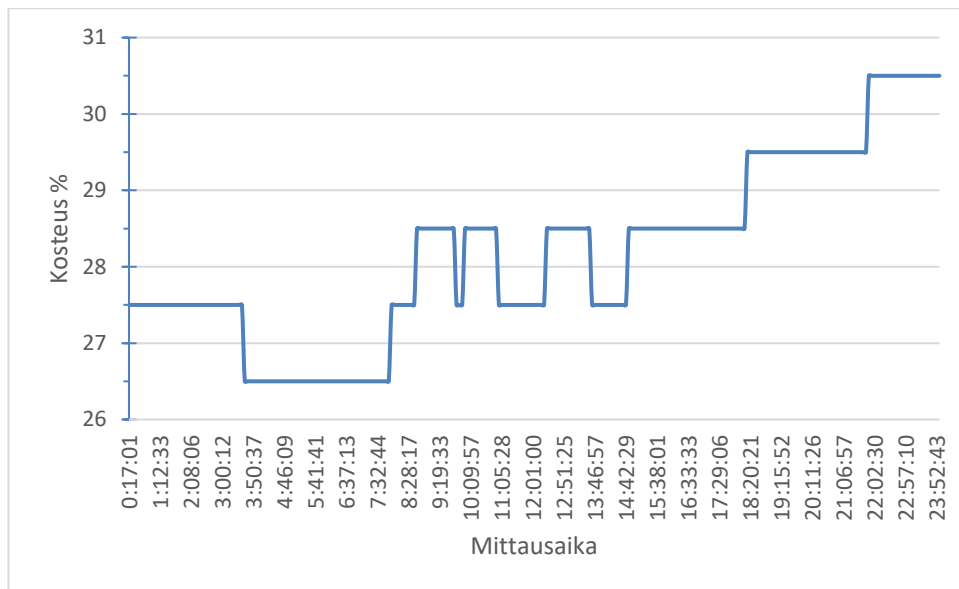
Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero ulkoilmaan päiväaikaan Pa	Paine-ero ulkoilmaan yöaikaan Pa
316,1	-324,9	-18	-11



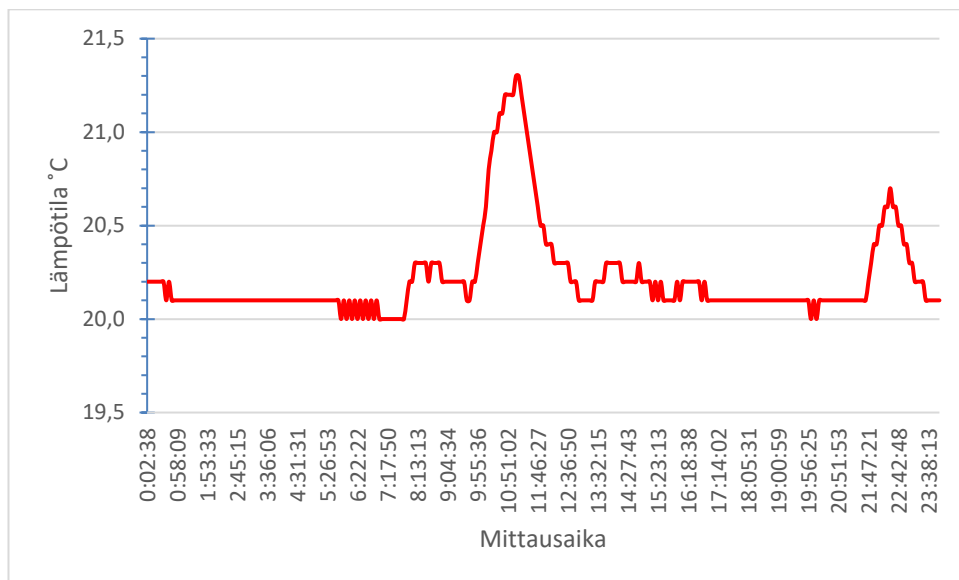


Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero ulkoilmaan päiväaikaan Pa	Paine-ero ulkoilmaan yöaikaan Pa
285,4	-286,3	-19	-11

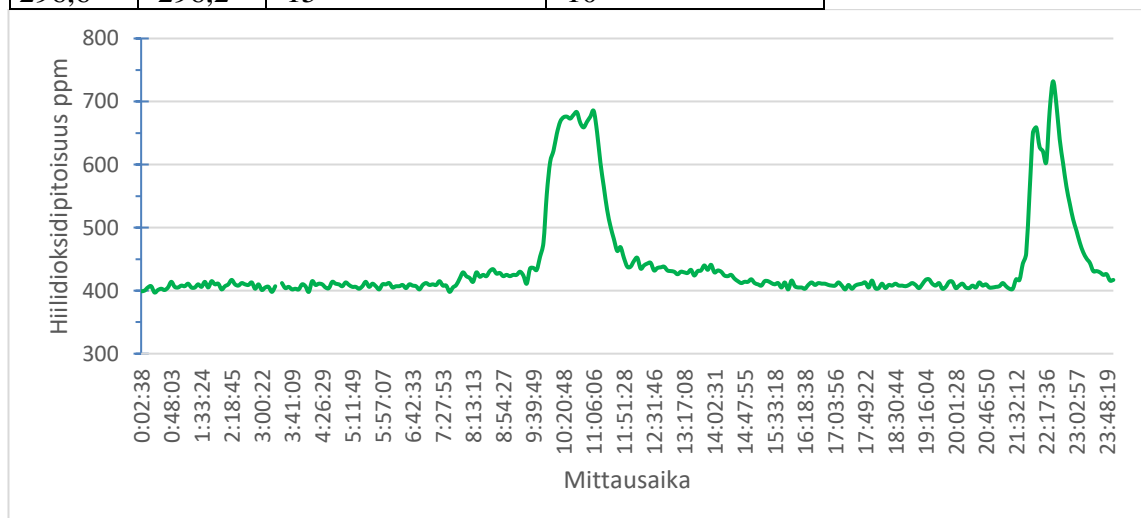


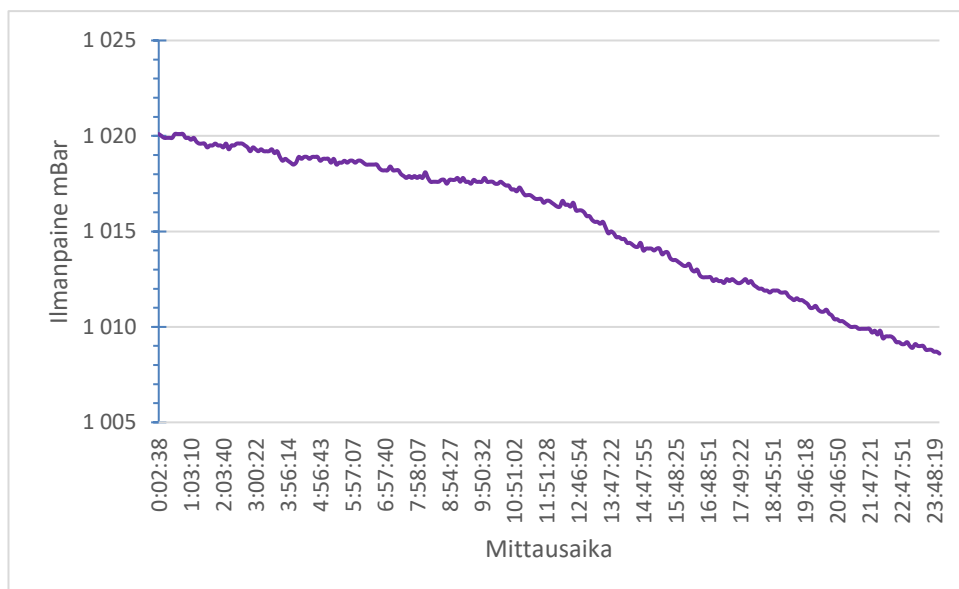
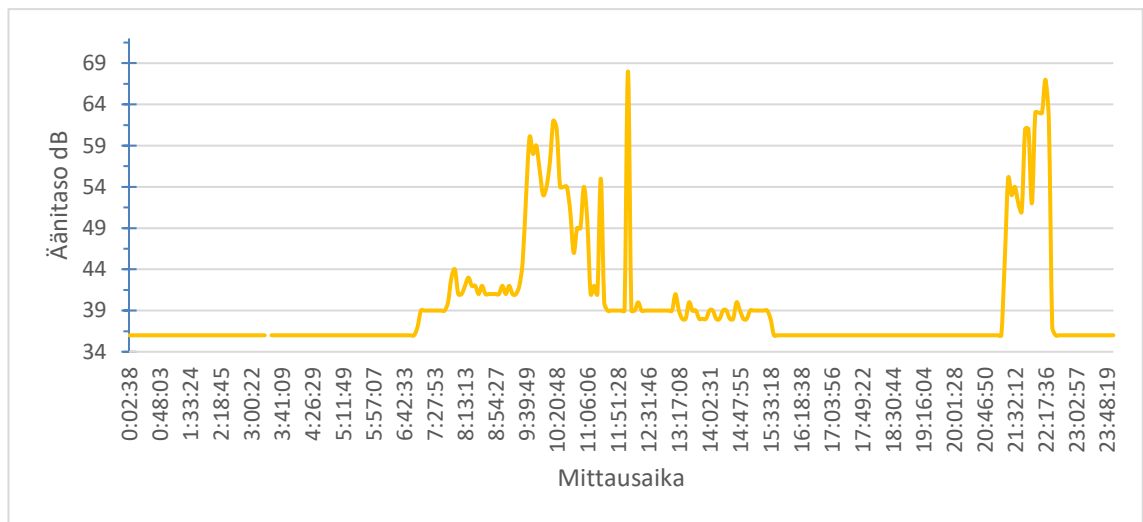
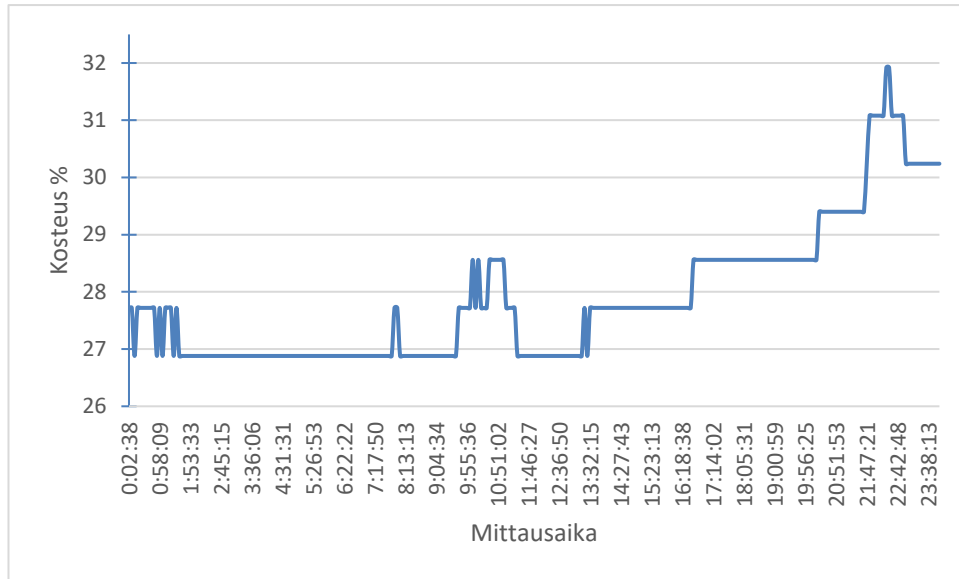


Liite 3. Luokka 240

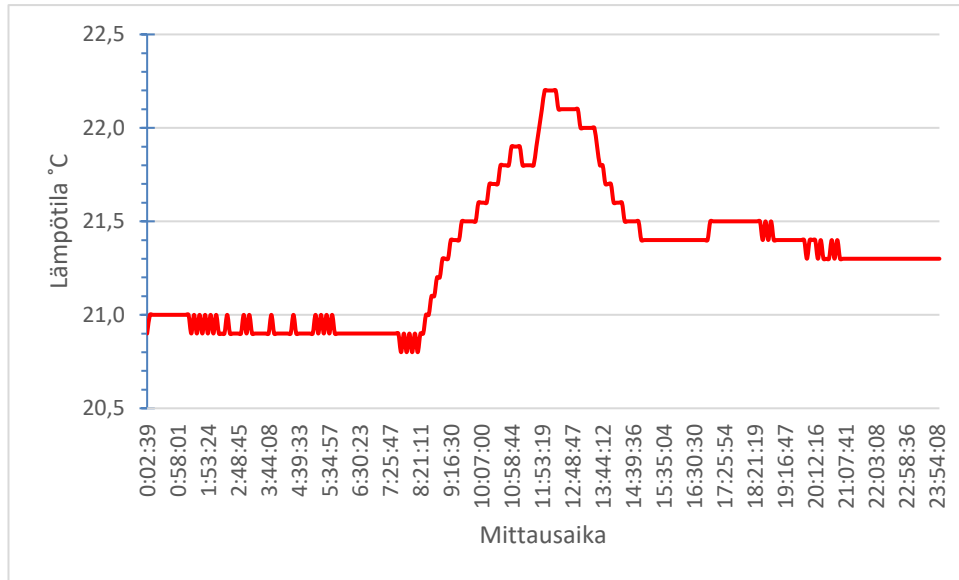


Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero ulkoil- päiväaikaan	Paine-ero ulkoil- yö-aikaan
296,6	-296,2	-15	-10

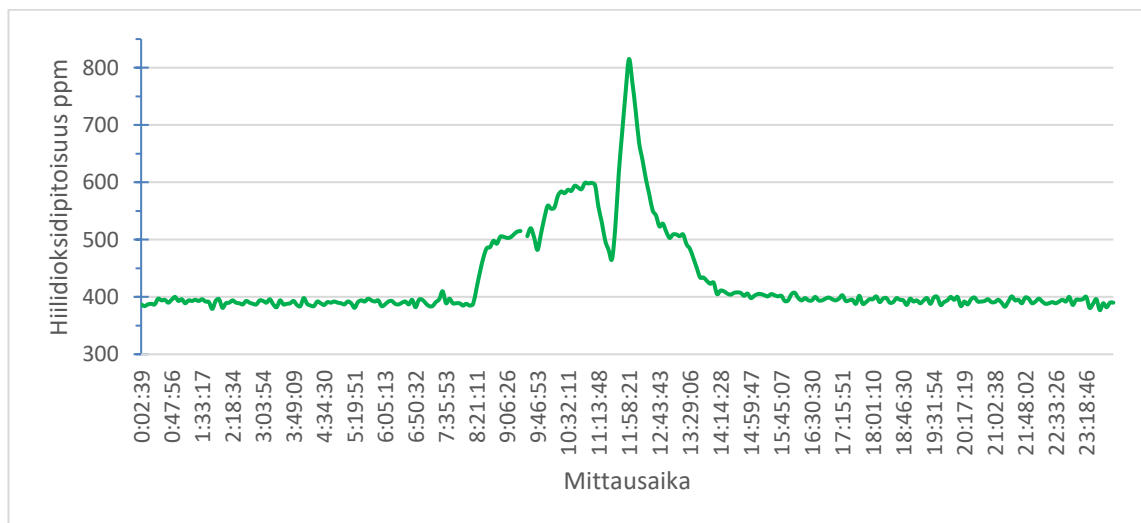


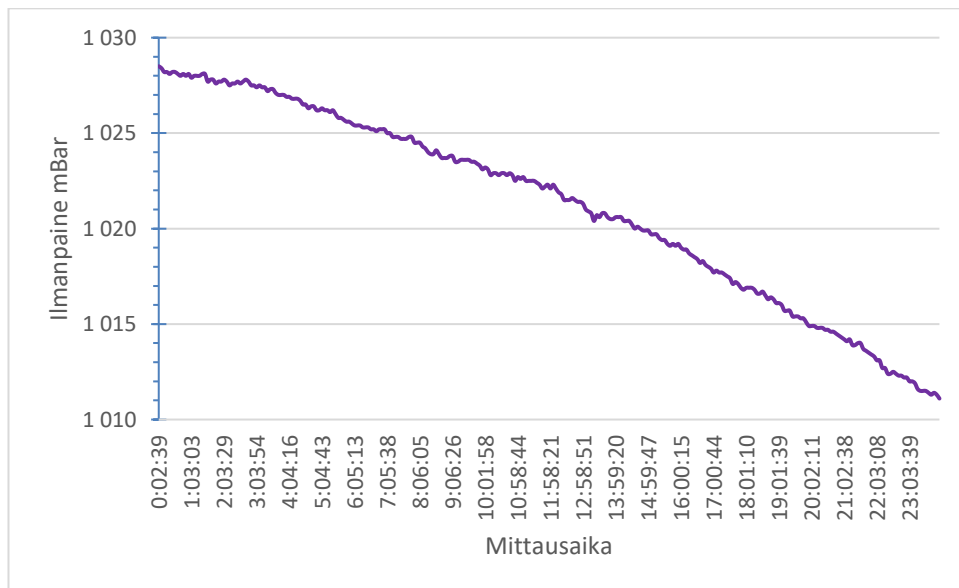
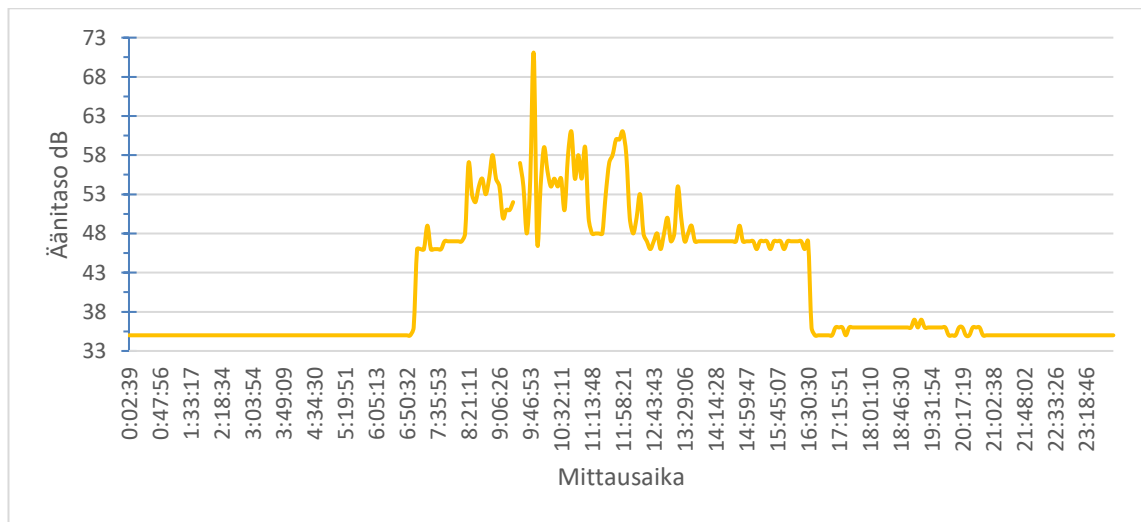
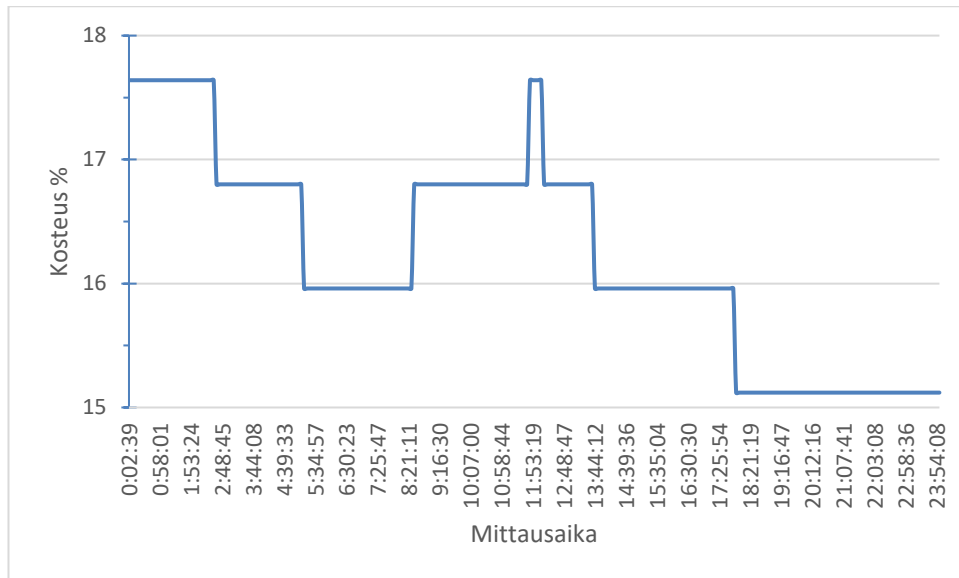


Liite 4. Luokka 302

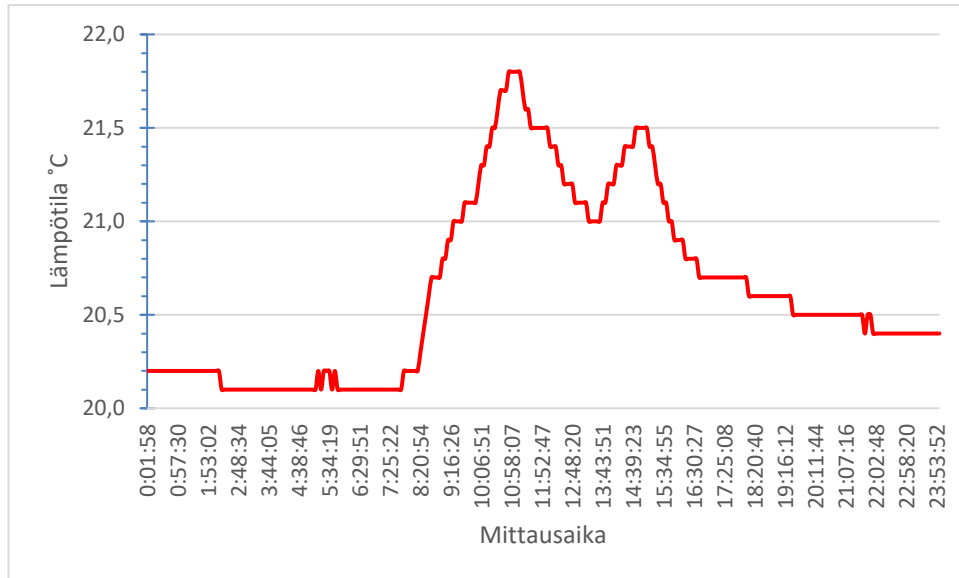


Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero ulkoil- päiväaikaan	Paine-ero ulkoil- yöaikaan
207,4	-226,8	-16	-10

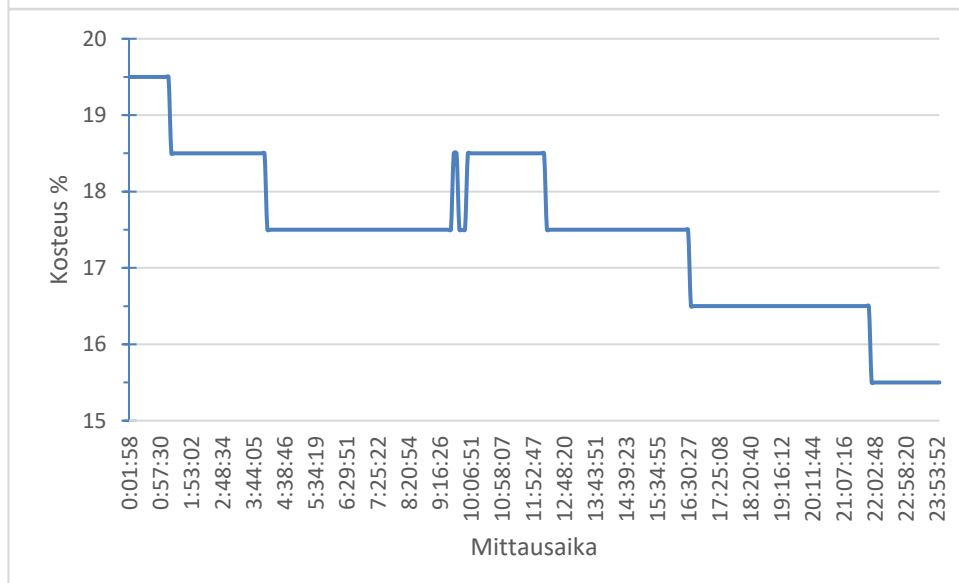
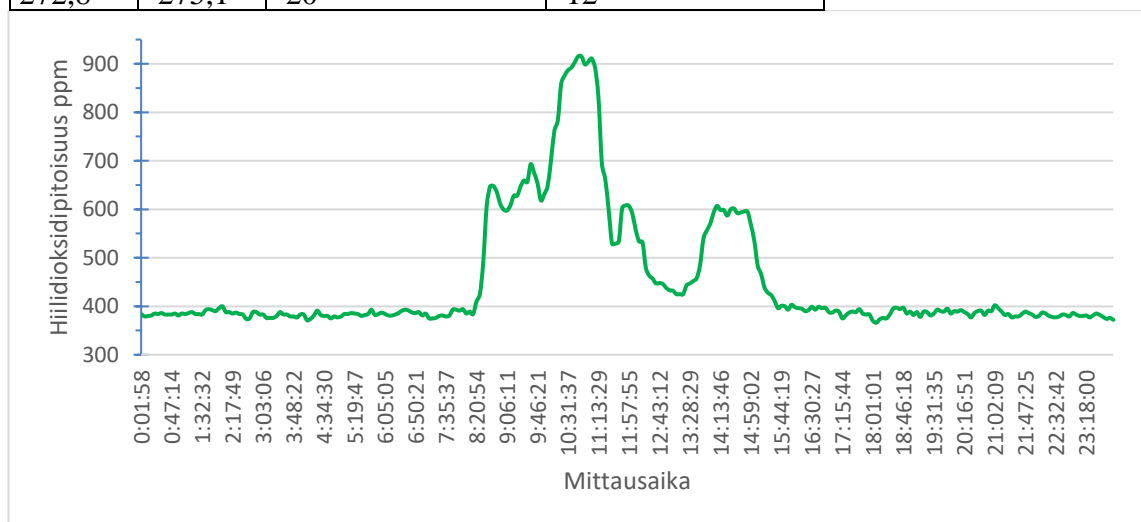




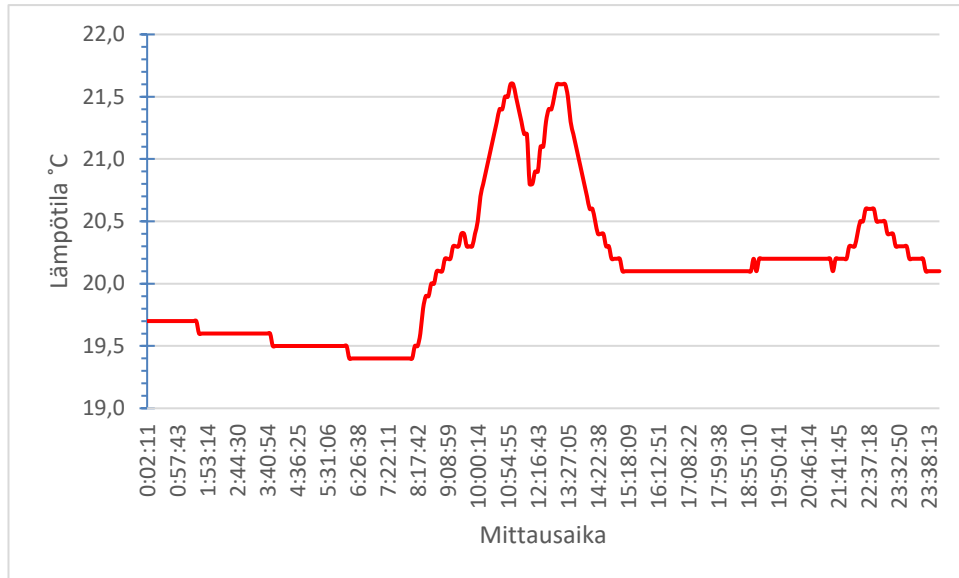
Liite 5. Luokka 304



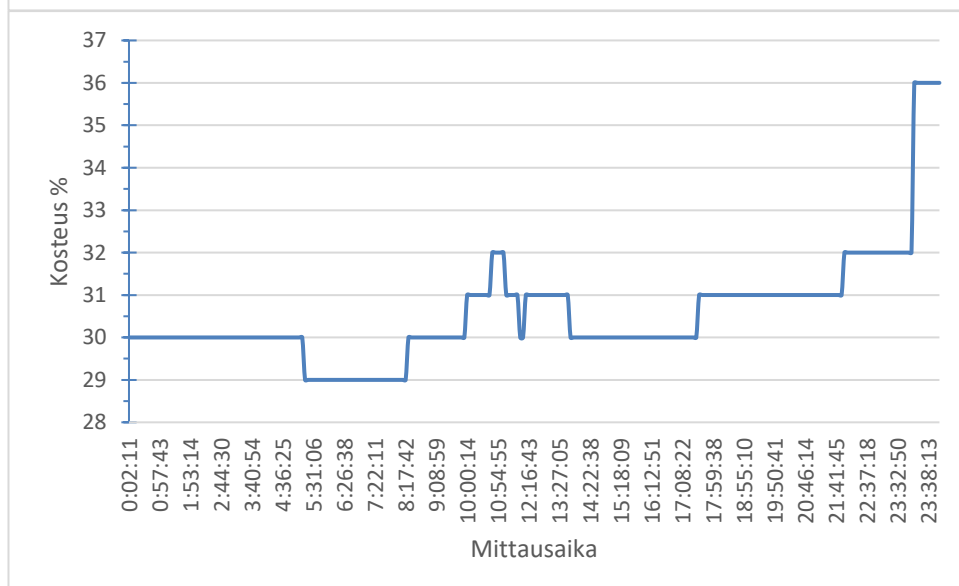
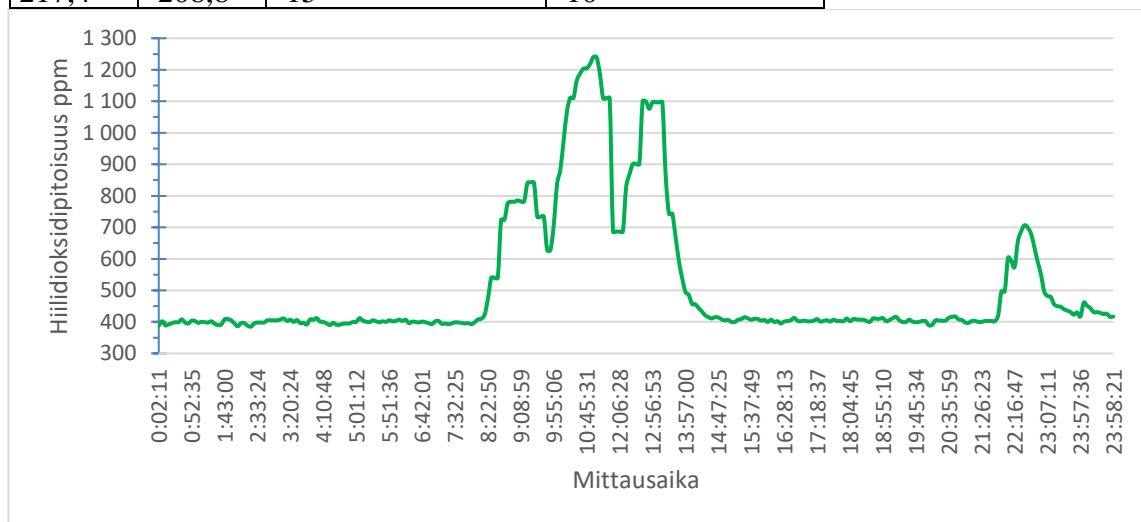
Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero päiväaikaan	ulkoil-	Paine-ero yöaikaan	ulkoil-
272,8	-275,1	-20		-12	



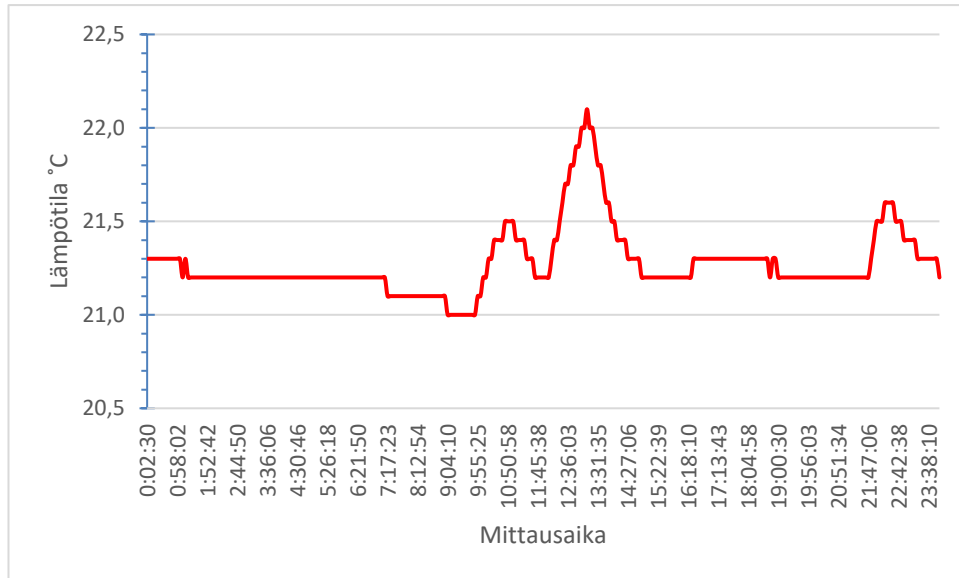
Liite 6. Luokka 320



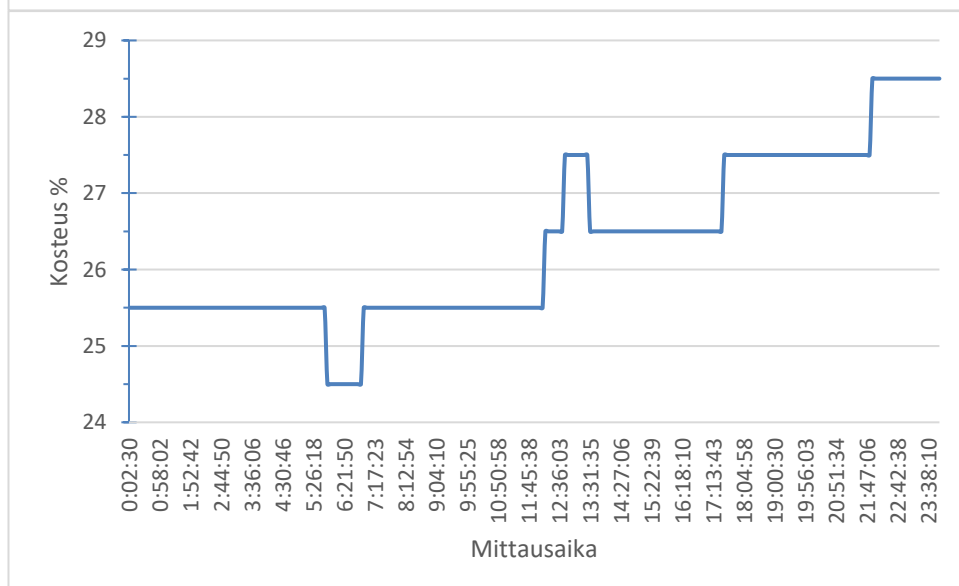
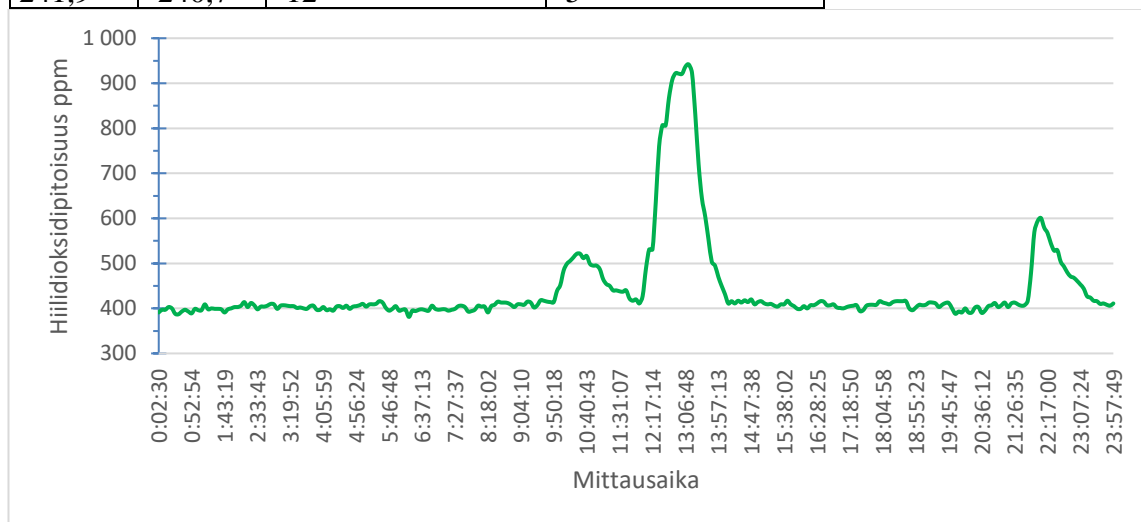
Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero päiväaikaan	Paine-ero yöaikaan
217,4	-208,8	-15	-10



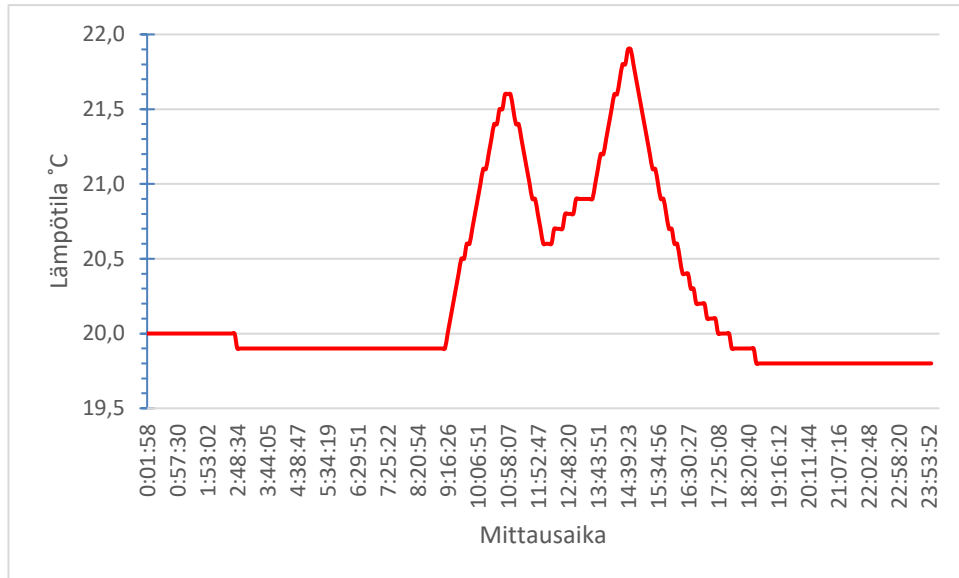
Liite 7. Luokka 322



Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero päiväaikaan	Paine-ero yöaikaan
241,9	-240,7	-12	-5



Liite 8. Luokka 338



Tulot dm ³ /s	Poistot dm ³ /s	Paine-ero päiväaikaan	ulkoil- Paine-ero yöaikaan
207,4	-206,4	-13	-8

